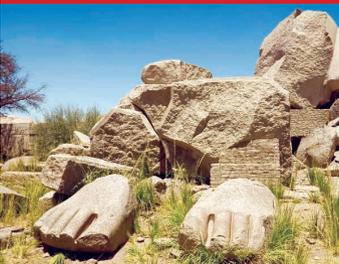


# Termologia



# La temperatura



Alaska Pipeline, Corbis, G. Neri

L'Alaska Pipeline è l'oleodotto che trasporta il greggio, attraverso l'Alaska, dal Mar Glaciale Artico fino all'Oceano Pacifico. È costruito metà sotto terra e metà all'esterno, e la parte sopraelevata ha una caratteristica forma a zig-zag.

► Perché l'oleodotto ha la forma a zig-zag?

LA RISPOSTA A PAG. 29

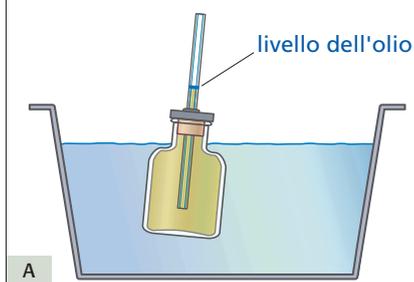
## 1. Il termometro

La sensazione di caldo e di freddo è soggettiva: toccando un pezzo di ferro si ha una sensazione di freddo, mentre un pezzo di legno nello stesso ambiente ci sembra più caldo. Per rendere precisa e misurabile questa impressione costruiamo uno strumento, il *termoscopio*, sui cui risultati tutti saremo d'accordo.

**Il termoscopio** è un recipiente chiuso da un tappo forato in cui è infilato un tubicino trasparente. Il recipiente e parte del tubo sono riempiti con un liquido, per esempio un olio lubrificante.

Riempiamo due vaschette con acqua scaldata in modo diverso. In quale delle due l'acqua è più calda?

► Immergiamo il termoscopio in una vaschetta; dopo un po' di tempo segniamo sul tubo il livello dell'olio.



► Poi immergiamo il termoscopio nella seconda vaschetta e aspettiamo fino a quando il livello dell'olio si stabilizza.

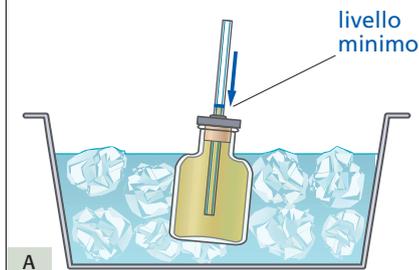


Se il nuovo livello dell'olio è maggiore di quello precedente, diciamo che la *temperatura* della seconda vaschetta è maggiore della temperatura della prima. Per sapere di quanto una temperatura è maggiore dell'altra, dobbiamo introdurre una scala graduata, cioè tarare il termometro.

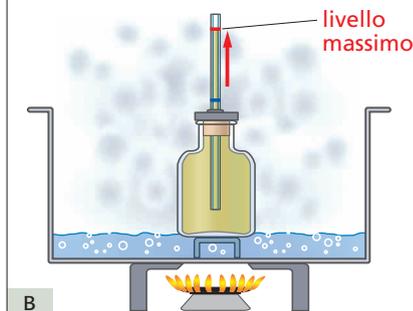
### ■ La misura della temperatura

Scegliamo due temperature come punti fissi di riferimento: quella del ghiaccio che fonde e quella dei vapori di acqua bollente. Entrambi questi fenomeni devono avvenire a pressione atmosferica normale, pari a  $1,01 \times 10^5$  Pa.

► Mettiamo il termoscopio in acqua e ghiaccio. Mentre il ghiaccio si scioglie, il livello dell'olio diminuisce fino a stabilizzarsi su un valore minimo.



► Poniamo il termoscopio tra i vapori dell'acqua che bolle. Il liquido sale nel tubo fino a un certo livello e poi non aumenta più.



#### LEZIONE

- Termoscopi e termometri

#### Taratura di uno strumento

Concettualmente, la taratura del termoscopio è analoga a quella del dinamometro. Prima si fa un confronto, poi si introduce una scala.

Per convenzione stabiliamo la corrispondenza

- 0 °C (0 gradi Celsius) → temperatura del ghiaccio fondente.
- 100 °C (100 gradi Celsius) → temperatura dell'acqua bollente.

La *scala Celsius* è ottenuta dividendo in cento parti eguali il segmento delimitato dai due livelli che abbiamo segnato in precedenza.

Fatto ciò, la scala termometrica può essere estesa anche alle temperature negative e a quelle maggiori di 100 °C.

Utilizzando il termoscopio tarato, che si chiama *termometro*, siamo in grado di misurare la temperatura, cioè di assegnare a ogni temperatura un numero su cui siamo tutti d'accordo.

### ■ La definizione operativa della temperatura

Che cosa è la temperatura?

La **temperatura** è, per definizione, la grandezza fisica che si misura con il termometro.

Per arrivare a questa *definizione operativa* abbiamo sfruttato:

1. il fenomeno della *dilatazione termica*, che incontriamo spesso in natura: per esempio, un palloncino di gomma gonfio d'aria, lasciato al sole, diventa più grande; messo in frigorifero, invece, diviene più piccolo;
2. l'*equilibrio termico*, cioè la condizione in cui due sistemi fisici, messi in contatto, raggiungono una stessa temperatura che poi non si modifica nel tempo: il termometro misura sempre la *propria* temperatura che, all'equilibrio termico, è anche quella del corpo (acqua ghiacciata, vapore, ...) con cui è in contatto.

### ■ Il kelvin

Nel Sistema Internazionale l'unità di misura per la temperatura è il *kelvin* (simbolo K). In questa scala, detta *scala assoluta*, la variazione di 1 K è identica a quella di 1 °C. Però la temperatura del ghiaccio fondente è pari a 273 K, cosicché quella dei vapori d'acqua bollente vale 373 K (→ figura sotto).

#### 273,15

Per la precisione, la temperatura assoluta del ghiaccio fondente è 273,15 K.



Le temperature  $T$  della nuova scala si ottengono da quelle  $t$  in gradi Celsius sommando a queste ultime il numero 273:

$$\text{temperatura (K)} \quad T = t + 273 \text{ K} \quad \text{temperatura (°C)} \quad (1)$$

Per passare dalla nuova alla vecchia scala si usa invece la formula inversa

$$\text{temperatura (°C)} \quad t = T - 273 \text{ °C} \quad \text{temperatura (K)} \quad (2)$$

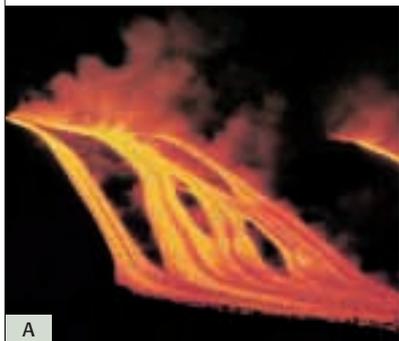
La temperatura assoluta è una scala naturale: infatti, gli esperimenti mostrano che non è possibile raffreddare un corpo alla temperatura 0 K o al di sotto di essa. Per questa ragione il valore di 0 K è detto *zero assoluto*.

L'oggetto più caldo che si può trovare normalmente in casa è il filamento incandescente (fatto di tungsteno) di una lampadina. La sua temperatura è circa 2800 K (o 2500 °C). Il luogo più freddo è l'interno del freezer che si trova nel frigorifero. Per esempio, in un congelatore «4 stelle» la temperatura deve essere inferiore a 255 K (−18 °C). Per fare un confronto,

**−273,15**

Più precisamente, lo zero assoluto si trova a −273,15 °C.

- ▶ la lava diventa liquida a circa 2000 K (1700 °C),



G. Meinell, 1979

- ▶ la carta brucia a circa 500 K (230 °C)



C. Gardini, Parma 2001

- ▶ e l'azoto diventa liquido a 77 K (−196 °C).



C. Gardini, Parma 2001

### DOMANDA

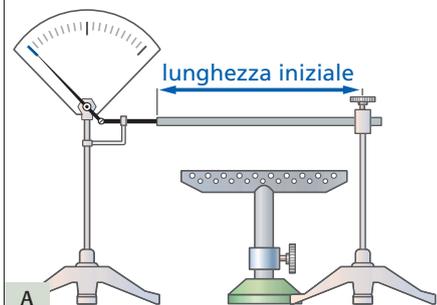
Procurati tre vaschette. Nella prima metti acqua calda di rubinetto; nella seconda acqua fredda di rubinetto e ghiaccio (il ghiaccio deve essere circa 1/3 del totale); nella terza metti uguali quantità di acqua calda e fredda.

- ▶ Immergi una mano nell'acqua calda e l'altra nella miscela di acqua e ghiaccio. Lascia le mani immerse per almeno 15 s.
- ▶ Metti le due mani, insieme, nella terza vaschetta.
- ▶ Che sensazioni fisiche hai? L'acqua sembra altrettanto calda o altrettanto fredda a entrambe le mani?

## 2. La dilatazione lineare dei solidi

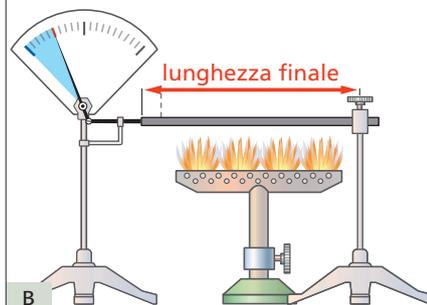
I corpi solidi, come i liquidi, tendono a dilatarsi quando sono riscaldati e a contrarsi quando sono raffreddati.

- ▶ Una barra sottile, fatta del materiale che si vuole esaminare, è collegata a un indice mobile.



A

- ▶ Riscaldando la barra, questa si allunga e spinge l'indice su una scala graduata.



B



### LEZIONE

- La dilatazione termica lineare

Si vede che, per tutti i solidi, la variazione di lunghezza con la temperatura segue, con buona approssimazione, la legge sperimentale della **dilatazione lineare**:

$$\frac{l - l_0}{\Delta l} = l_0 \lambda \Delta t \quad (3)$$

allungamento (m) —————  
 lunghezza iniziale (m) —————  
 coefficiente di dilatazione lineare ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$  o  $\text{K}^{-1}$ )  
 variazione di temperatura ( $^{\circ}\text{C}$  o  $\text{K}$ )

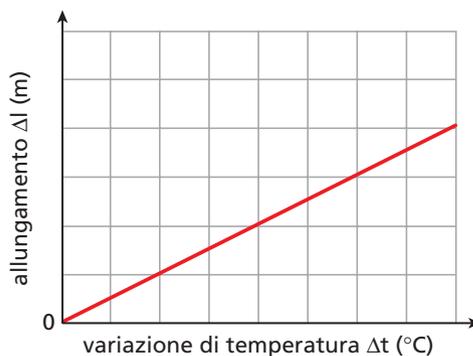
L'allungamento della barra,  $\Delta l$ , è dato dalla differenza tra la lunghezza finale  $l$  alla nuova temperatura e la lunghezza iniziale  $l_0$ . Il *coefficiente di dilatazione lineare*  $\lambda$  (lettera greca *lambda*) dipende dal materiale di cui è composta la barra.

La costante  $\lambda$  è numericamente uguale all'allungamento di una barra lunga un metro riscaldata di  $1^{\circ}\text{C}$ .

Il prodotto  $l_0 \lambda \Delta t$ , che è uguale a  $\Delta l$ , ha le dimensioni fisiche di una lunghezza. Così il prodotto  $\lambda \Delta t$  deve essere un numero puro e, quindi, le dimensioni fisiche di  $\lambda$  sono il reciproco di quelle di  $\Delta t$ . Ecco perché  $\lambda$  si misura in  $^{\circ}\text{C}^{-1}$  o in  $\text{K}^{-1}$ .

Dalla  $\rightarrow$  tabella a sinistra vediamo che una barra lunga un metro di uno dei materiali elencati si allunga da un decimo di millimetro (diamante) a 3 mm (zinco e piombo) quando la sua temperatura aumenta di  $100^{\circ}\text{C}$ .

La formula mostra che l'allungamento  $\Delta l = l - l_0$  della barretta è direttamente proporzionale all'aumento di temperatura  $\Delta t$ . In un grafico con la temperatura  $t$  in ascisse e l'allungamento  $l - l_0$  in ordinate, questa relazione è rappresentata da una retta che passa per l'origine degli assi.

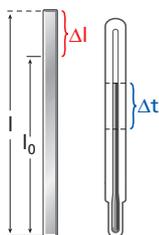


Portando il termine  $l_0$  dal membro di sinistra a quello di destra e raccogliendo, possiamo scrivere la legge della dilatazione lineare nella forma:

$$l = l_0 + l_0 \lambda \Delta t = l_0 (1 + \lambda \Delta t) \quad (4)$$

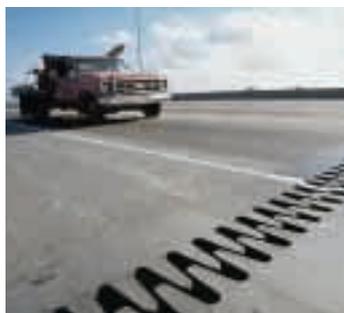
La dilatazione termica ha importanti applicazioni pratiche: molte strutture (per esempio i ponti e gli oleodotti) cambiano lunghezza in modo significativo a causa delle differenze di temperatura tra estate e inverno o tra notte e giorno. Per questa ragione i progettisti adottano degli stratagemmi per evitare che le variazioni di lunghezza causino danni.

Esempi di questi accorgimenti sono la presenza di giunti in strade e ponti come si vede nella  $\rightarrow$  fotografia a sinistra.



**COEFFICIENTI DI DILATAZIONE LINEARE**

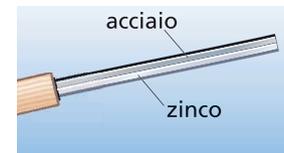
Sostanza	$\lambda(\text{K}^{-1})$
Zinco	$30 \times 10^{-6}$
Piombo	$29 \times 10^{-6}$
Alluminio	$23 \times 10^{-6}$
Rame	$17 \times 10^{-6}$
Cemento armato	$14 \times 10^{-6}$
Ferro	$12 \times 10^{-6}$
Vetro (normale)	$9 \times 10^{-6}$
Diamante	$1,3 \times 10^{-6}$



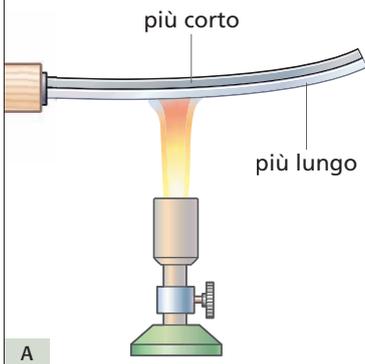
B. Dammrich, Stock Boston

Un dispositivo che funziona in base alla dilatazione termica è la *lamina bimetallica* (→figura a fianco), formata da due barrette di metalli diversi (per esempio zinco e acciaio) unite fianco a fianco.

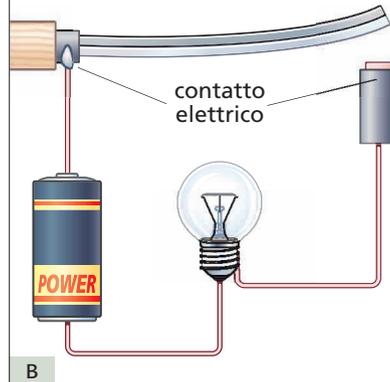
I due metalli sono scelti in modo da avere coefficienti di dilatazione il più possibile diversi tra loro.



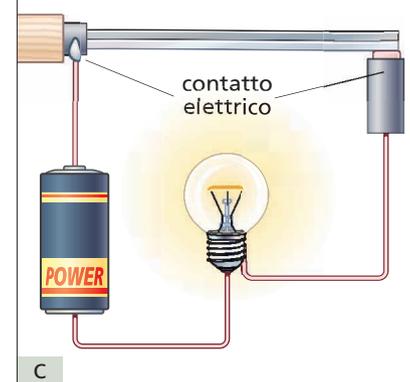
► Un aumento di temperatura allunga una delle barrette più dell'altra e, per permettere ciò, la lamina si deve piegare dalla parte del metallo che si allunga di meno.



► Ciò è sfruttato in molti *termostati* di apparecchi elettrici: quando la temperatura si alza troppo, la lamina si piega e stacca il collegamento elettrico.



► Una volta raffreddata, la lamina bimetallica torna a fare contatto e l'apparecchio elettrico riprende a funzionare in tutta sicurezza.



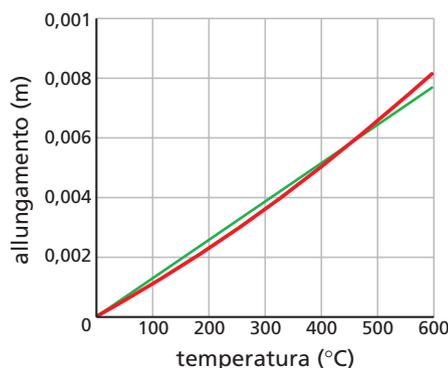
## ■ La formula di dilatazione lineare è approssimata

La legge di dilatazione lineare è valida con buona approssimazione e in un ampio intervallo di temperature, ma non è perfettamente in accordo con i dati sperimentali. In effetti si tratta di una *legge fenomenologica*, come la legge della forza di Hooke o quella che fornisce la forza di attrito radente.

Una legge fenomenologica è una regolarità della natura molto utile per le applicazioni pratiche, ma che vale comunque in modo approssimato e in un ambito di fenomeni piuttosto ristretto. In altre parole è un «modello».

Nella →figura sotto è rappresentato l'allungamento reale di una sbarra d'acciaio che, a 0 °C, misura un metro esatto e che è riscaldata fino a 600 °C. Come si vede, il comportamento sperimentale (linea rossa) segue bene, ma non perfettamente, un allungamento rettilineo (linea verde).

Ciò si può esprimere dicendo che il coefficiente di dilatazione lineare non è costante, ma varia un poco con la temperatura.



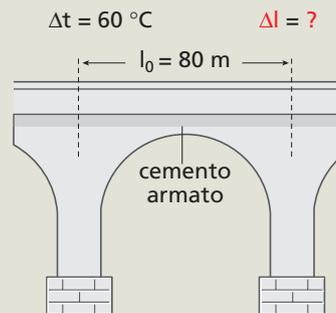
### Campo di validità

La legge di dilatazione lineare ha un campo di validità piuttosto limitato: è abbastanza inesatta per valori elevati della variazione di temperatura e cessa completamente di valere quando il solido inizia a fondere.

**PROBLEMA**

Ponti e viadotti autostradali sono spesso divisi in settori, detti «campate». Supponiamo che, tra inverno e estate si registri una variazione di temperatura di 60 °C. La campata di cemento armato, nel giorno più freddo dell'anno, è lunga  $l_0 = 80$  m.

► Qual è il suo allungamento massimo, dovuto alla dilatazione termica, in estate?



■ **Strategia e soluzione**

- Nella tabella del paragrafo precedente vediamo che il coefficiente di dilatazione termica del cemento armato è  $\lambda = 1,4 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  (si può usare allo stesso modo  $\text{K}^{-1}$  oppure  $^\circ\text{C}^{-1}$  perché la variazione di temperatura di 1 K è identica a quella di 1 °C).
- Calcoliamo ora l'allungamento usando la formula (3):

$$\Delta l = l_0 \lambda \Delta t = (80 \text{ m}) \times \left( 1,4 \times 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}} \right) \times (60 \text{ } ^\circ\text{C}) = 0,067 \text{ m.}$$

■ **Discussione**

Si tratta di un allungamento di quasi 7 cm. In effetti, l'interruzione che compare nella foto a pag. 6 ha all'incirca questo valore.

**DOMANDA**

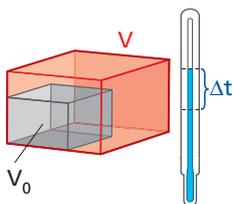
Il progetto per il ponte sullo Stretto di Messina ha un'unica campata di cemento armato, lunga 3,0 km.

- Quale sarebbe, con la stessa variazione di temperatura vista sopra, la sua variazione di lunghezza nel corso dell'anno?
- Esercizio simile: 12 a pag. 33.

### 3. La dilatazione volumica dei solidi

Una barretta non si dilata soltanto in lunghezza, ma anche in larghezza e in spessore. Queste due dimensioni, però, sono molto minori della lunghezza: la loro dilatazione è quindi trascurabile perché è piccola rispetto all'allungamento. Una sfera e un cubo, invece, si dilatano nella stessa misura in tutte le direzioni.

Consideriamo l'aumento di tutto il volume di un corpo, che passa dal volume iniziale  $V_0$  al volume finale  $V$  in seguito alla variazione di temperatura. In questo caso gli esperimenti mostrano che vale la legge sperimentale della **dilatazione volumica**:



$$V = V_0(1 + \alpha \Delta t) \tag{5}$$

volume finale ( $\text{m}^3$ ) —————  
 volume iniziale ( $\text{m}^3$ ) —————  
 coefficiente di dilatazione volumica ( $^\circ\text{C}^{-1}$  o  $\text{K}^{-1}$ )  
 variazione di temperatura ( $^\circ\text{C}$  o  $\text{K}$ )

La costante  $\alpha$  è chiamata *coefficiente di dilatazione volumica* del corpo e ha le stesse unità di misura di  $\lambda$ .

Per un solido si dimostra che  $\alpha$  è uguale a  $3\lambda$ . Per esempio, per il ferro il coefficiente di dilatazione lineare è  $\lambda = 12 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  e il coefficiente di dilatazione volumica è  $\alpha = 36 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

### ■ Dimostrazione della dilatazione volumica dei solidi

Consideriamo un parallelepipedo omogeneo i cui spigoli, alla temperatura iniziale, misurano  $a_0, b_0$  e  $c_0$ . In tali condizioni, il volume del parallelepipedo è  $V_0 = a_0 b_0 c_0$ .

Con una variazione di temperatura  $\Delta t$  le lunghezze dei tre spigoli diventano:

$$a = a_0(1 + \lambda\Delta t), \quad b = b_0(1 + \lambda\Delta t), \quad c = c_0(1 + \lambda\Delta t),$$

dove  $\lambda$  è il coefficiente di dilatazione lineare del materiale di cui il parallelepipedo è composto.

Calcoliamo ora il volume  $V$  finale del parallelepipedo; otteniamo:

$$\begin{aligned} V &= abc = a_0(1 + \lambda\Delta t) \cdot b_0(1 + \lambda\Delta t) \cdot c_0(1 + \lambda\Delta t) = \\ &= \underbrace{a_0 b_0 c_0}_{V_0} (1 + \lambda\Delta t)^3 = V_0(1 + \lambda\Delta t)^3. \end{aligned}$$

Sviluppando il cubo del binomio troviamo

$$V = V_0[1 + 3\lambda\Delta t + 3(\lambda\Delta t)^2 + (\lambda\Delta t)^3].$$

Questa formula può essere semplificata. In effetti, in tutte le situazioni pratiche il numero  $\lambda\Delta t$  è piuttosto piccolo. Ciò significa che i due termini  $(\lambda\Delta t)^2$  e  $(\lambda\Delta t)^3$  sono ancora più piccoli e, quindi, possono essere trascurati.

In conclusione, la legge che descrive con buona approssimazione la dilatazione di un solido è

$$V = V_0(1 + 3\lambda\Delta t),$$

che si riduce alla formula (5) se si pone  $\alpha = 3\lambda$ .

#### DOMANDA

La temperatura di una sbarretta di rame aumenta di  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- ▶ Calcola il valore di  $\lambda\Delta t$  in questo caso.
- ▶ Calcola i valori di  $(\lambda\Delta t)^2$  e  $(\lambda\Delta t)^3$ ; poi discuti se questi numeri possono essere trascurati rispetto al valore che hai ottenuto per  $\lambda\Delta t$ .

## 4. La dilatazione volumica dei liquidi

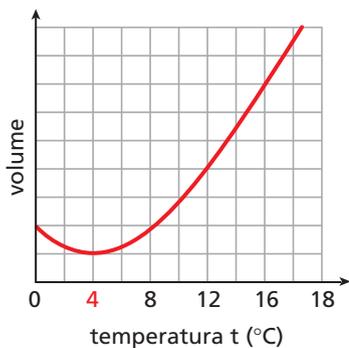
Anche per i liquidi vale la stessa legge (5),

$$V = V_0(1 + \alpha\Delta t)$$

ma con un valore di  $\alpha$  che, come mostra la  $\rightarrow$  tabella a fianco, è da 10 a 100 volte maggiore di quello relativo ai solidi. Per esempio, il coefficiente di dilatazione volumica dell'olio d'oliva,  $\alpha = 0,72 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ , è quasi 30 volte maggiore di quello del vetro. Ciò spiega perché una damigiana d'olio, se riempita troppo, nelle giornate calde può traboccare.

#### COEFFICIENTI DI DILATAZIONE VOLUMICA

Sostanza	$\alpha(\text{K}^{-1})$
Benzina	$1,0 \times 10^{-3}$
Etanolo	$1,12 \times 10^{-3}$
Glicerina	$0,53 \times 10^{-3}$
Mercurio	$0,18 \times 10^{-3}$
Olio d'oliva	$0,72 \times 10^{-3}$



**Densità e volume**

La densità

$$d = \frac{m}{V}$$

è inversamente proporzionale al volume.

■ **Il comportamento anomalo dell'acqua**

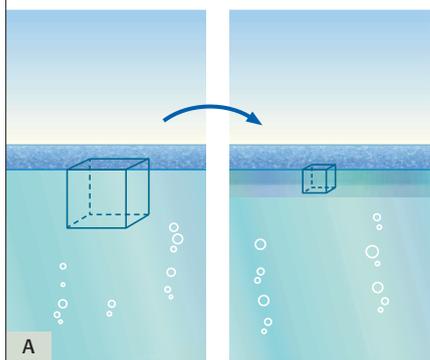
L'acqua si comporta in modo diverso dagli altri liquidi (→ figura a sinistra).

Da 0 °C a 4 °C il suo volume, invece di aumentare, diminuisce. Al di sopra dei 4 °C il volume aumenta in modo regolare.

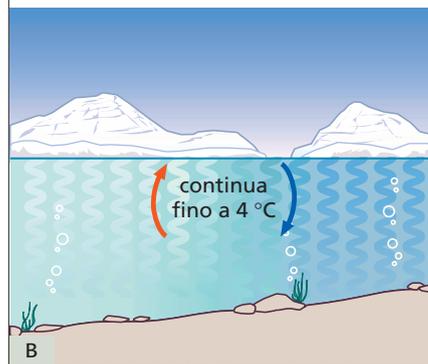
Questo comportamento anomalo spiega perché d'inverno i laghi gelano soltanto in superficie, mentre al di sotto l'acqua rimane liquida. Così i pesci riescono a sopravvivere anche in climi molto rigidi.

Capiamo il perché seguendo il grafico all'indietro, da destra a sinistra. Quando la temperatura esterna si abbassa, l'acqua che si trova in superficie comincia a raffreddarsi.

► Il volume dello strato superficiale diminuisce e la sua densità aumenta: l'acqua sopra diventa più densa dell'acqua sotto.



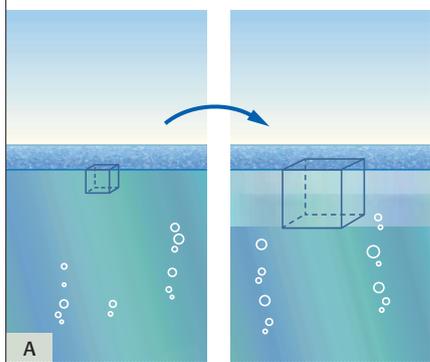
► Per la legge di Archimede lo strato superficiale più denso scende verso il fondo. Al suo posto sale dal basso l'acqua più calda (meno densa).



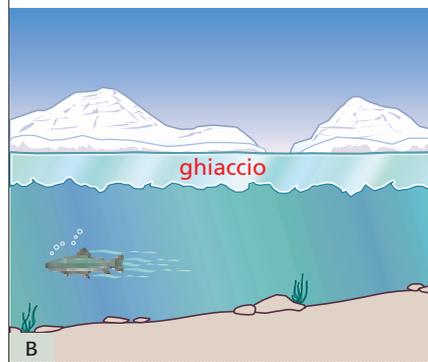
In questo modo la temperatura dell'acqua diminuisce e il processo continua fino a quando tutta l'acqua raggiunge la temperatura di 4 °C.

A causa dell'aria fredda, la temperatura dello strato in superficie continua a diminuire.

► Ora, però, il volume dello strato superficiale aumenta e la sua densità diminuisce: l'acqua sopra diventa meno densa di quella che si trova sotto.



► Per la legge di Archimede lo strato superficiale meno denso non può scendere e rimane in superficie, dove continua a raffreddarsi, fino a che diventa ghiaccio.

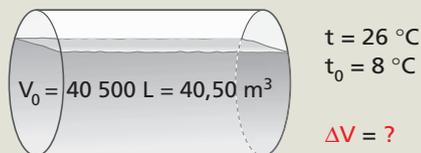


Poiché da 4 °C a 0 °C l'acqua, invece di contrarsi, si dilata si crea quindi nei laghi uno strato di ghiaccio che protegge la vita della fauna e della flora acquatica.

**PROBLEMA**

Un'autocisterna viene riempita di notte, quando la temperatura è di 8 °C, con 40 500 L di benzina. Durante il viaggio, il Sole scalda la benzina fino a 26 °C.

► Di quanto aumenta il volume della benzina?

**Strategia e soluzione**

- Nella tabella del paragrafo precedente leggiamo che il coefficiente di dilatazione volumica della benzina è  $\alpha = 1,0 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .
- Sostituiamo i dati nella formula:

$$V = V_0[1 + \alpha(t - t_0)] = 40,50 \text{ m}^3 \times [1 + (1,0 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}) \times (18 \text{ } ^\circ\text{C})] = 40,50 \text{ m}^3 \times (1 + 0,018) = 40,50 \text{ m}^3 \times 1,018 = 41,23 \text{ m}^3.$$

- L'aumento di volume è

$$\Delta V = V - V_0 = 41,23 \text{ m}^3 - 40,50 \text{ m}^3 = 0,73 \text{ m}^3.$$

Si tratta di un volume pari a 730 L.

**Discussione**

L'aumento percentuale di volume della benzina è pari a

$$\frac{0,73 \times 100}{40,50} \% = 1,8 \%$$

Si tratta di un aumento di quasi il 2%. Quindi è importante che, all'inizio del viaggio, la cisterna non sia riempita completamente.

**DOMANDA**

► Di quanto aumenta ancora il volume della benzina se la sua temperatura cresce di altri 9° C?

→ Esercizi simili: 22 e 24 a pag. 34.

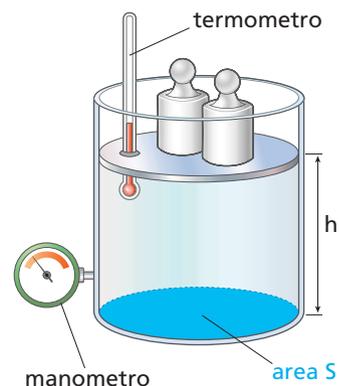
## 5. Le trasformazioni di un gas

Per studiare un gas dobbiamo racchiuderlo in un contenitore, per esempio un recipiente munito di pistone a tenuta stagna (→ figura a destra).

Lo **stato** di un gas è descritto da quattro grandezze:

- 1) la massa  $m$  del gas, che possiamo misurare con una bilancia di precisione;
- 2) il volume  $V$ , che determiniamo in modo indiretto, conoscendo l'area  $S$  della base del cilindro e misurando l'altezza  $h$  a cui si trova il pistone:  $V = Sh$ ;
- 3) la temperatura  $T$ , che misuriamo con un termometro;
- 4) la pressione  $p$ , che misuriamo con un manometro.

Decidiamo di non cambiare mai la massa del gas e di non rimuovere il pistone; possiamo quindi intervenire sullo stato del gas in due modi:



- aggiungendo o togliendo dei pesetti sul pistone, possiamo variare la pressione del gas;
- mediante fonti di calore o l'uso di frigoriferi ne possiamo cambiare la temperatura.

Ognuno di questi interventi provoca una **trasformazione** del gas. Nel corso della trasformazione esso passa da stati diversi da quello in cui si trovava prima della trasformazione (*stato iniziale*). Lo stato in cui si trova il gas al termine della trasformazione è detto *stato finale*.

### ■ Trasformazioni isoterme, isòbare e isocòre

Tra le infinite trasformazioni che un gas può subire ce ne sono alcune particolarmente importanti (→ tabella sotto).

#### PRINCIPALI TRASFORMAZIONI DEI GAS

Grandezze che variano	Grandezza che rimane costante	Nome della trasformazione
Pressione Volume	Temperatura	Isoterma
Volume Temperatura	Pressione	Isòbara
Pressione Temperatura	Volume	Isocòra

#### DOMANDA

- Come puoi comprimere il gas (cioè ridurre il volume) senza muovere direttamente il pistone?

Una variazione di pressione e volume a temperatura costante è un esempio di trasformazione *isoterma*. Mantenendo costante la pressione, si ottiene una trasformazione *isòbara*. Se il volume è costante, la trasformazione si dice *isocòra*.

## 6. La prima legge di Gay-Lussac ( $p$ costante)

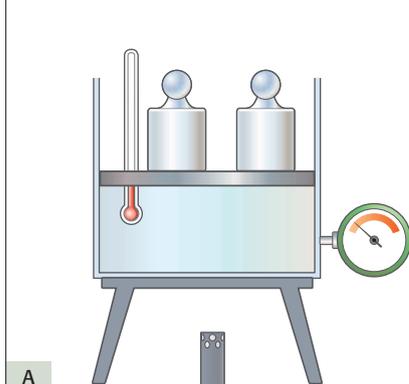
#### LEZIONE

- La dilatazione volumica di solidi, liquidi e gas

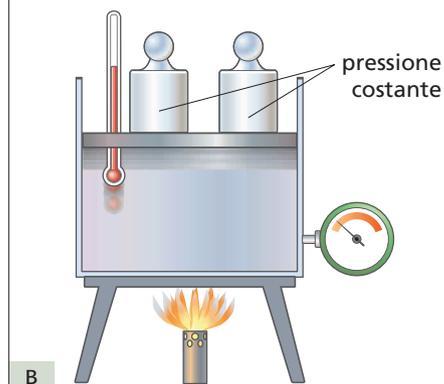


Vogliamo scaldare il gas mantenendo costante la pressione (trasformazione isòbara).

- All'inizio dobbiamo stabilire quanti pesetti appoggiamo al pistone e non cambiarli.



- Scaldando il gas a pressione costante, esso si espande, cioè aumenta di volume.



**Joseph-Louis Gay-Lussac** (1778-1850) chimico e fisico francese. Oltre alle due leggi che portano il suo nome, scoprì il cloro e diede importanti contributi alla comprensione delle proprietà chimiche degli acidi e delle basi.

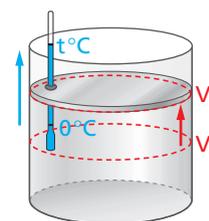


Finché la temperatura del gas aumenta, vediamo che l'espansione continua.

Questo fenomeno è descritto da una legge sperimentale: la **prima legge di Gay-Lussac**.

$$V = V_0(1 + \alpha t) \quad (6)$$

volume (m<sup>3</sup>) alla temperatura  $t$  ————— temperatura (°C)  
 volume (m<sup>3</sup>) alla temperatura di 0 °C ————— coefficiente di dilatazione volumica (°C<sup>-1</sup>)



È importante notare che, a differenza di ciò che accade nelle leggi di dilatazione dei solidi e dei liquidi, qui il simbolo  $V_0$  non rappresenta un generico volume iniziale del gas, ma proprio il volume del gas alla temperatura di 0 °C.

La prima legge di Gay-Lussac non descrive soltanto il riscaldamento di un gas, ma anche il suo raffreddamento:

- un gas riscaldato a pressione costante si dilata (aumenta il volume);
- un gas raffreddato a pressione costante si contrae (diminuisce il volume).

Puoi confermare questa legge, in modo qualitativo, con un palloncino di gomma gonfio di aria.

- Scaldandolo con un asciugacapelli, il palloncino si gonfia;



- mettendolo in frigorifero, il palloncino si sgonfia.



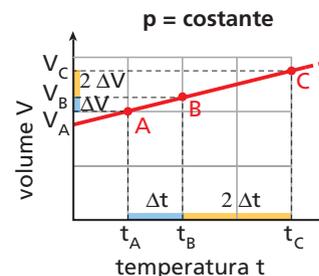
La quantità di aria contenuta al suo interno è rimasta la stessa, ma occupa volumi diversi a temperature differenti.

A pressione costante il grafico del volume del gas al variare della temperatura è una retta (→ figura a destra). Di conseguenza, le variazioni di volume sono direttamente proporzionali alle variazioni di temperatura che le determinano.

### ■ La costante $\alpha$

Bisogna fare attenzione a due proprietà osservate sperimentalmente:

1. la prima legge di Gay-Lussac ha un ambito di validità limitato: vale soltanto quando il gas non è troppo compresso e quando la sua temperatura è abbastanza lontana da quella di liquefazione;
2. in queste condizioni la costante  $\alpha$  non varia da sostanza a sostanza, come accade per i solidi e per i liquidi, ma ha lo stesso valore *per tutti* i gas.



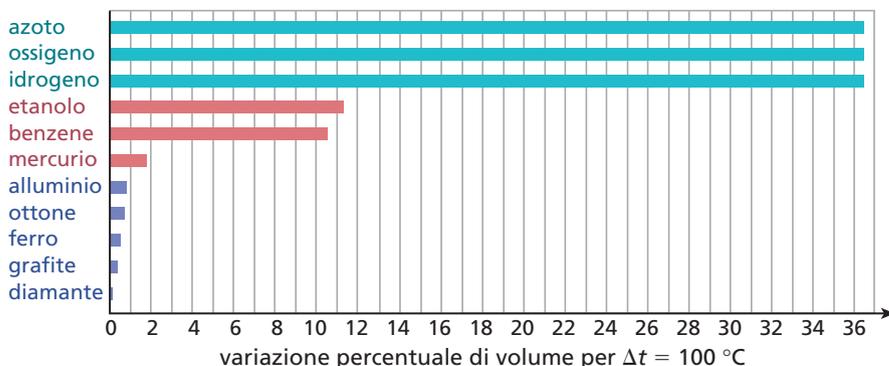
### Da gas a liquido

A temperature abbastanza basse tutti i gas diventano liquidi. Per esempio, l'ossigeno diventa liquido a  $-183$  °C, l'idrogeno a  $-253$  °C.

Gli esperimenti mostrano che il coefficiente di espansione volumica per i gas è

$$\alpha = 3,66 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1} = \frac{1}{273} \frac{1}{\text{K}} = \frac{1}{273} \frac{1}{^\circ\text{C}}.$$

Questo valore numerico è maggiore di quelli relativi ai solidi e ai liquidi. Ciò fa sì che i gas si dilatino più dei liquidi e molto più dei solidi. La → figura sotto mostra l'aumento percentuale di volume per diversi solidi, liquidi e gas riscaldati da 0 °C a 100 °C (a pressione costante).



■ **La prima legge di Gay-Lussac e la temperatura assoluta**

Se indichiamo con  $T_0 = 273 \text{ K}$  la temperatura assoluta che corrisponde a 0 °C, la relazione appena scritta diventa

$$\alpha = \frac{1}{T_0}.$$

Utilizzando la temperatura assoluta  $T$  invece della temperatura Celsius  $t$ , possiamo riscrivere la prima legge di Gay-Lussac nella forma:

$$V_T = \frac{V_0}{T_0} T \tag{7}$$

Diagramma di annotazione:   
 - Volume (m³) a temperatura T (punta sopra T)   
 - volume (m³) a 273 K (punta sopra V₀)   
 - temperatura di 273 K (punta sotto T₀)   
 - temperatura assoluta del gas (K) (punta sotto T)

Il volume occupato da un gas è quindi direttamente proporzionale alla sua temperatura assoluta.

■ **Dimostrazione della formula precedente**

Poiché 273 °C è uguale a  $\frac{1}{\alpha}$ , possiamo riscrivere la formula che permette di passare dalla temperatura assoluta  $T$  alla temperatura Celsius  $t$ , come

$$t = T - 273 \text{ K} = T - \frac{1}{\alpha}.$$

Con questa sostituzione, il fattore  $(1 + \alpha t)$  che compare nella prima legge di Gay-Lussac diventa

$$(1 + \alpha t) = \left[ 1 + \alpha \left( T - \frac{1}{\alpha} \right) \right] = (1 + \alpha T - 1) = \alpha T = \frac{T}{T_0}.$$

Così la prima legge di Gay-Lussac assume la forma vista sopra, che non a caso è più semplice della (6) scritta in termini della temperatura centigrada.

**DOMANDA**

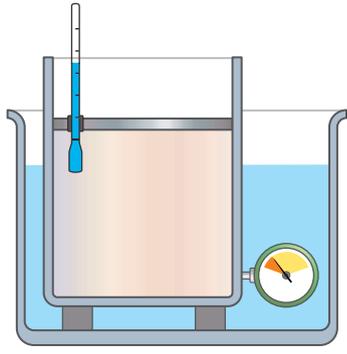
► È corretta la seguente affermazione?

In un gas, mantenendo costante la pressione, quando raddoppia la temperatura Celsius anche il suo volume raddoppia.

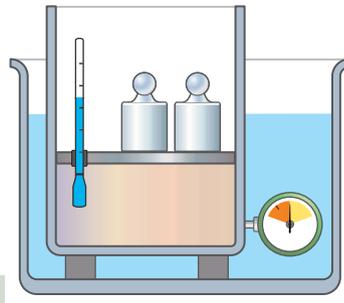
## 7. La legge di Boyle ( $T$ costante)

Facciamo variare adesso la pressione del gas mantenendo la sua temperatura costante attraverso il contatto con un corpo che mantiene la stessa temperatura quando assorbe o cede calore. Come per la prima legge di Gay-Lussac, il gas deve essere poco compresso e lontano dalla liquefazione.

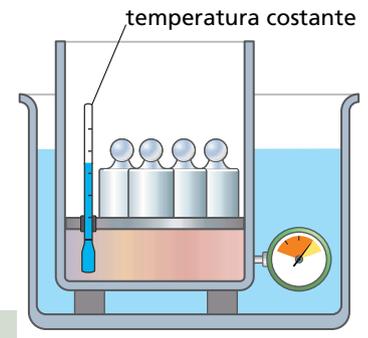
- Sul manometro del dispositivo leggiamo la pressione del gas contenuto nel cilindro quando il volume ha un dato valore iniziale. Controlliamo anche la sua temperatura.



- Aggiungiamo dei pesi sul pistone. Quando il volume del gas è dimezzato, a temperatura costante, vediamo che la sua pressione è il doppio di quella iniziale.



- Se, sempre a temperatura costante, portiamo il volume del gas a essere un terzo di quello iniziale, leggiamo sul manometro che la sua pressione è il triplo di quella originale.



Gli esperimenti mostrano che un gas compresso tende a riscaldarsi. Quindi, nel comprimere il gas dobbiamo procedere molto lentamente, in modo che il gas rimanga alla stessa temperatura del corpo (per esempio l'aria circostante) con cui è a contatto.

Con questo accorgimento, il comportamento del gas è descritto da una seconda legge sperimentale, la *legge di Boyle*.

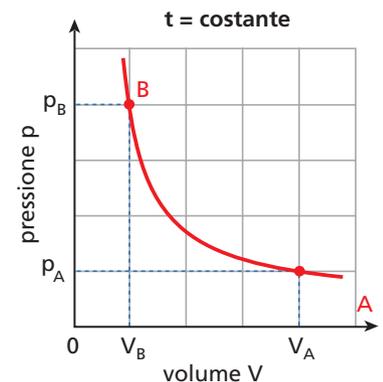
$$pV = p_1V_1 \quad (8)$$

pressione finale (Pa) ————— pressione iniziale (Pa)  
 volume finale (m<sup>3</sup>) ————— volume iniziale (m<sup>3</sup>)

La **legge di Boyle** stabilisce che, a temperatura costante, il prodotto del volume occupato da un gas per la sua pressione rimane costante.

Ciò significa che, in tali condizioni, pressione e volume di un gas sono inversamente proporzionali.

Disegnando in un grafico (→ figura a destra) il valore della pressione del gas (a temperatura costante) in funzione del volume occupato, si ottiene un arco di iperbole equilatera. Questo grafico si chiama *isoterma*.



### PROBLEMA

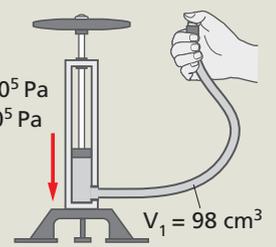
Una pompa per biciclette, con la valvola di uscita chiusa, contiene 98 cm<sup>3</sup> di aria alla pressione di  $1,4 \times 10^5$  Pa.

- Quale diventa il volume della stessa quantità d'aria se, mantenendo la temperatura costante, aumentiamo la pressione fino a  $2,3 \times 10^5$  Pa?

$$p_1 = 1,4 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$p = 2,3 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$V = ?$$



■ **Strategia e soluzione**

- Siccome la temperatura del gas rimane costante, possiamo utilizzare la legge di Boyle (formula (8))

$$pV = p_1V_1.$$

- Dividendo i due membri della formula precedente per  $p$  ricaviamo

$$V = \frac{p_1V_1}{p} = \frac{1,4 \times 10^5 \text{ Pa} \times 9,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3}{2,3 \times 10^5 \text{ Pa}} = 6,0 \times 10^{-5} \text{ m}^3.$$

Quindi, alla fine l'aria presente nella pompa occupa un volume di  $60 \text{ cm}^3$ .

■ **Discussione**

Visto che la pressione aumenta (diventa  $2,3/1,4 = 1,6$  volte più grande), il volume occupato dall'aria diminuisce in proporzione (diventa  $9,8/6,0 = 1,6$  volte più piccolo).

**DOMANDA**

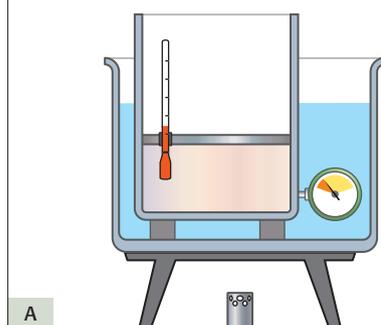
- A quale pressione l'aria contenuta nella pompa occupa (sempre a temperatura costante) un volume di  $75 \text{ cm}^3$ ?
- Esercizio simile: 40 a pag. 36.

## 8. La seconda legge di Gay-Lussac (V costante)

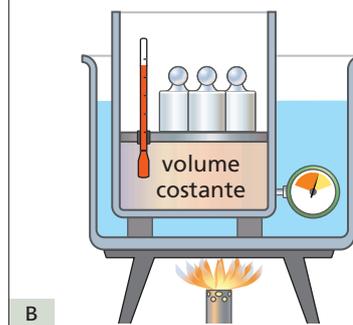
**LEZIONE**  
• Le leggi di Boyle e Gay-Lussac

Rimane ancora da vedere come si modifica la pressione di un gas, al variare della temperatura, quando il suo volume si mantiene costante. Anche in questo caso il gas deve essere poco compresso e lontano dalla liquefazione.

- Sul manometro leggiamo la pressione iniziale del gas che occupa un dato volume. Controlliamo anche la sua temperatura.



- Aumentiamo la temperatura e manteniamo il volume costante, aggiungendo pesi sul pistone. La pressione cresce.



La legge sperimentale che descrive l'aumento di pressione del gas, a volume costante, quando cambia la sua temperatura è la **seconda legge di Gay-Lussac**.

$$p = p_0(1 + \alpha t) \tag{9}$$

pressione (Pa) a temperatura  $t$       coefficiente di dilatazione volumica ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )  
 pressione (Pa) a  $0^{\circ}\text{C}$       temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )

Il coefficiente  $\alpha$  è uguale per tutti i gas ed è lo stesso che compare nella prima legge.

Disegnando il grafico che fornisce il valore della pressione  $p$  di un gas (a volume costante) in funzione della temperatura si ottiene una retta (→ figura a lato). Ciò significa che le variazioni di pressione sono direttamente proporzionali alle corrispondenti variazioni di temperatura.

## ■ Seconda legge di Gay-Lussac e temperatura assoluta

Utilizzando la temperatura assoluta  $T$ , la seconda legge di Gay-Lussac diventa

$$p_T = \frac{p_0}{T_0} T \quad (10)$$

pressione (Pa) a temperatura  $T$       pressione (Pa) a 273 K  
 temperatura (K)      273 K

A volume costante, la pressione del gas è direttamente proporzionale alla sua temperatura assoluta.

## ■ Il termometro a gas

La formula (10) permette di definire in modo operativo la temperatura assoluta mediante un *termometro a gas*:

in un **termometro a gas** la temperatura assoluta è determinata misurando la pressione di una certa quantità di gas mantenuto a volume costante.

Per realizzare il termometro si sceglie un gas che segua bene la seconda legge di Gay-Lussac; in questo modo, partendo dalla formula (10),  $T$  è dato dall'espressione

$$T = \frac{T_0}{p_0} p_T.$$

### PROBLEMA

Quando una bicicletta è in garage alla temperatura  $t_1 = 18,3 \text{ }^\circ\text{C}$  uno dei suoi pneumatici contiene aria alla pressione  $p_1 = 2,15 \times 10^5 \text{ Pa}$ . Una volta lasciata la bicicletta in un luogo assolato, la temperatura dell'aria degli pneumatici sale al valore  $t_2 = 34,7 \text{ }^\circ\text{C}$ .

▶ Trascurando la variazione di volume della camera d'aria, calcoliamo la nuova pressione  $p_2$  dell'aria contenuta in essa.



$$p_1 = 2,15 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$t_1 = 18,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 34,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

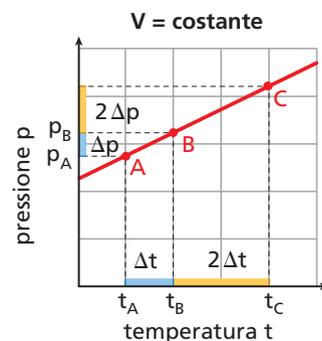
$$p_2 = ?$$

### ■ Strategia e soluzione

- Dal momento che il volume in cui l'aria è contenuta non cambia, possiamo ricavare  $p_2$  dalla seconda legge di Gay-Lussac

$$p_2 = p_0(1 + \alpha t_2)$$

a patto di conoscere il valore della quantità  $p_0$ .



### Un pallone lasciato al Sole

Di quanto aumenta, in percentuale, la pressione dell'aria in un pallone da calcio quando passa da  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ?

### Termometri a liquido

Il coefficiente  $\alpha$  dei liquidi non è costante e, quindi, la variazione di livello del liquido nei termometri non è esattamente proporzionale a  $\Delta T$ . Invece il fattore  $\alpha$  dei gas è costante, per cui un termometro, che contiene un gas poco compresso e lontano dalla liquefazione, è più preciso di uno a liquido.

- A sua volta,  $p_0$  può essere calcolato a partire da  $p_1$  e  $t_1$  utilizzando di nuovo la seconda legge di Gay-Lussac:

$$p_1 = p_0(1 + \alpha t_1)$$

da cui troviamo

$$p_0 = \frac{p_1}{1 + \alpha t_1} = \frac{2,15 \times 10^5 \text{ Pa}}{1 + \frac{1}{273 \text{ °C}} \times 18,3 \text{ °C}} = \frac{2,15 \times 10^5 \text{ Pa}}{1,07} = 2,01 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

- Sostituendo questo valore nella prima equazione scritta in precedenza possiamo ricavare

$$p_2 = (2,01 \times 10^5 \text{ Pa}) \times \left(1 + \frac{34,7 \text{ °C}}{273 \text{ °C}}\right) = (2,01 \times 10^5 \text{ Pa}) \times 1,13 = 2,27 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

#### ■ Discussione

Dal momento che la temperatura dell'aria è aumentata, la sua pressione è cresciuta da  $2,15 \times 10^5 \text{ Pa}$  a  $2,27 \times 10^5 \text{ Pa}$ , cioè del 5,6%.

#### DOMANDA

Un gas è mantenuto a volume costante. Alla temperatura di  $40 \text{ °C}$  la sua pressione è  $p = 1,5 \times 10^5 \text{ Pa}$ .

► Qual è la sua pressione  $p_0$  a  $0 \text{ °C}$ ?

→ Esercizio simile: 46 a pag. 36.

## 9. Il gas perfetto

### LEZIONE

- Gas perfetto e temperatura assoluta



Ricordiamo che la legge di Boyle e le due leggi di Gay-Lussac descrivono in modo corretto le proprietà di un gas se sono soddisfatte due condizioni:

1. il gas è piuttosto rarefatto;
2. la sua temperatura è molto maggiore di quella alla quale esso si liquefa.

Un gas ideale che obbedisce alla legge di Boyle e le due leggi di Gay-Lussac si chiama **gas perfetto**.

Quello del gas perfetto è un *modello* semplice e utile, che permette, in molti casi, di descrivere con grande precisione il comportamento dei gas reali.

Per esempio, il modello del gas perfetto descrive bene il comportamento dell'aria che respiriamo (l'aria liquefa attorno ai  $-210 \text{ °C}$ , per cui la temperatura ambiente è ben al di sopra di tale valore). L'aria contenuta in una bombola da sub, a una pressione pari a 200 volte quella atmosferica, può essere ancora considerata un gas perfetto, ma con una precisione minore.

Invece, il vapore acqueo che esce dalla pentola, essendo a una temperatura pari a quella di liquefazione, non può in alcun modo essere descritto dalla legge di Boyle e dalle due leggi di Gay-Lussac.

#### ■ L'equazione di stato del gas perfetto

La legge sperimentale di Boyle e le due leggi sperimentali di Gay-Lussac possono essere sintetizzate in un'unica relazione, chiamata **equazione di sta-**

**to del gas perfetto.** Essa stabilisce un legame tra le tre grandezze che caratterizzano lo stato di un gas: la pressione, il volume e la temperatura.

$$pV = \left( \frac{p_0 V_0}{T_0} \right) T \quad (11)$$

pressione (Pa) —————  
 ————— temperatura (K)  
 volume (m<sup>3</sup>) —————

Il prodotto della pressione del gas perfetto per il volume che esso occupa è direttamente proporzionale alla temperatura assoluta del gas.

L'equazione di stato sintetizza le tre leggi dei gas perché, come è mostrato nella → tabella sotto, partendo dall'equazione di stato è possibile ricavare la legge di Boyle e le due leggi di Gay-Lussac come casi particolari.

#### PRINCIPALI TRASFORMAZIONI DEI GAS

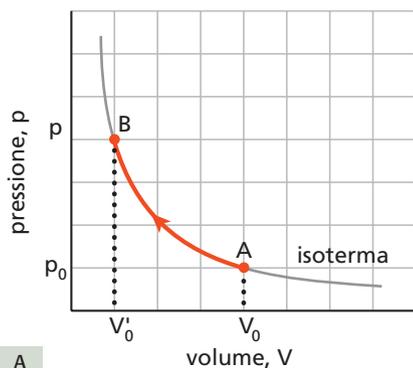
Trasformazione	Condizione	Calcolo	Risultato	Legge ottenuta
Isoterma	$T = T_0$	$pV = \frac{p_0 V_0}{T_0} T$	$pV = p_0 V_0$	Boyle
Isòbara	$p = p_0$	$p_0 V = \frac{p_0 V_0}{T_0} T$	$V = \frac{V_0}{T_0} T$	Prima di Gay-Lussac
Isocòra	$V = V_0$	$p V_0 = \frac{p_0 V_0}{T_0} T$	$p = \frac{p_0}{T_0} T$	Seconda di Gay-Lussac

#### ■ Dimostrazione dell'equazione di stato

Consideriamo una certa quantità di gas perfetto che si trova nello stato con volume  $V_0$ , pressione  $p_0$  e temperatura  $T_0$ . Vogliamo portarlo ad avere volume  $V$ , pressione  $p$  e temperatura  $T$  mediante due trasformazioni successive:

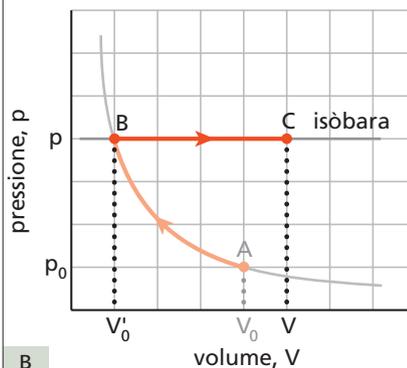
- 1) una trasformazione isoterma alla temperatura  $T_0$  che porta alla pressione  $p$  e al volume  $V'_0$ ; per la legge di Boyle:

$$p_0 V_0 = p V'_0 \Rightarrow V'_0 = \frac{p_0 V_0}{p} .$$



- 2) Una trasformazione isòbara a pressione  $p$ , che porta il gas al volume  $V$  e alla temperatura  $T$ ; per la prima legge di Gay-Lussac:

$$V = \frac{V'_0}{T_0} T .$$



Nell'equazione a destra, al posto di  $V'_0$  sostituiamo l'espressione ricavata a sinistra. Così troviamo:

$$V = V'_0 \frac{1}{T_0} T = \frac{p_0 V_0}{p} \frac{1}{T_0} T \Rightarrow pV = \frac{p_0 V_0}{T_0} T.$$

L'ultima espressione trovata è proprio l'equazione di stato del gas perfetto (formula (11)).

**DOMANDA**

A seguito di una trasformazione, la pressione di una certa quantità di gas perfetto quadruplica e contemporaneamente il suo volume si dimezza.

► Come varia la temperatura del gas?

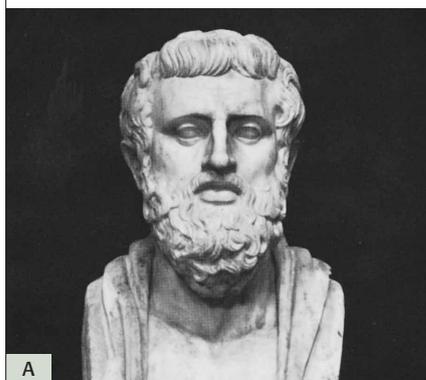
## 10. Atomi e molecole

**FILM**

- La sezione 1 del film *La materia e lo spazio* dell'Agenzia Spaziale Europea ([www.esa.int](http://www.esa.int)) descrive la struttura della materia e il modo in cui gli atomi si combinano a formare molecole

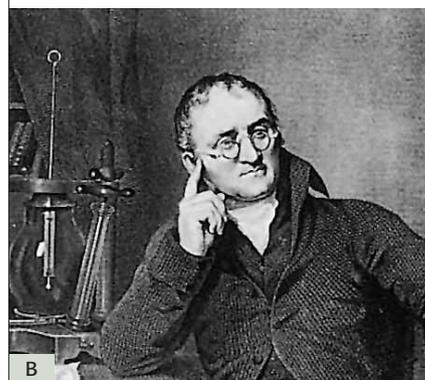


► L'esistenza degli atomi fu ipotizzata dal filosofo greco Democrito (circa 460-370 a.C.).



A

► Il modello atomico della materia fu introdotto dal chimico inglese John Dalton (1766-1844).



B

Storia della Scienza 4. Natura e vita. I, ed. moderna Einaudi, Torino, 1994

**Miscugli**

Non esistono, però, molecole di carta o molecole di vernice. Questi non sono sostanze pure ma miscugli, composti da diversi tipi di molecole.

Tutto ciò che vediamo intorno a noi è quindi composto di piccolissimi grani, che chiamiamo «molecole». Per esempio, il ghiaccio, l'acqua liquida e il vapore acqueo sono composti dalle medesime molecole, tutte identiche tra loro.

Ogni sostanza pura è caratterizzata da una propria molecola, diversa da quella delle altre sostanze. Esistono milioni di molecole diverse, tra cui quelle dell'acqua, dell'ossigeno e dello zucchero.

La **molecola** è il «grano» più piccolo da cui è costituita una sostanza.

■ **Gli atomi**

Tutte le molecole che esistono sono formate da una novantina di «mattoni» fondamentali, detti **atomi**.

- A ogni atomo corrisponde un **elemento**, cioè una sostanza elementare non più scomponibile in sostanze più semplici.
- Le sostanze formate da atomi di più elementi sono dette **composti**.

Sono elementi l'elio, il mercurio e il rame. Sono composti l'acqua, lo zucchero, la plastica e il DNA.

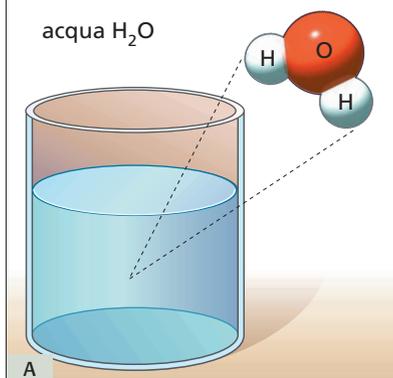
Soltanto negli ultimi anni è stato possibile visualizzare direttamente gli atomi. Nella → fotografia a destra, un singolo atomo di bario è stato «intrapolato» mediante forze magnetiche e investito con luce laser. In questo modo è stato possibile ottenerne una immagine (il puntino azzurro al centro della fotografia).



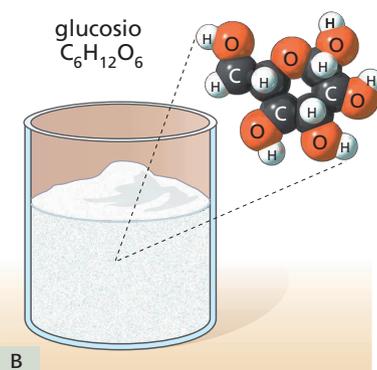
## ■ Le molecole

Le sostanze sono costituite da tantissime molecole tutte uguali. Ciascuna molecola è formata da atomi.

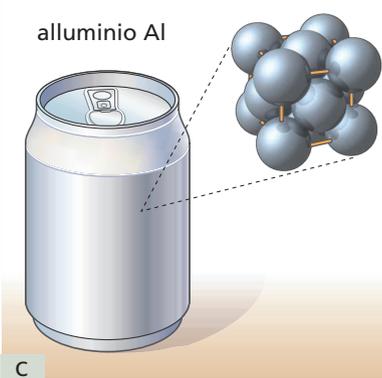
► L'**acqua** è costituita da molecole formate da due atomi di idrogeno legati a uno di ossigeno.



► Lo **zucchero** è un composto formato da sei atomi di carbonio, sei di ossigeno e dodici di idrogeno.



► L'**alluminio** solido è costituito da un reticolo cristallino regolare formato da atomi di alluminio.



Molecole diverse si distinguono per gli atomi che contengono e per il modo in cui essi si legano tra loro (→ tabella sotto).

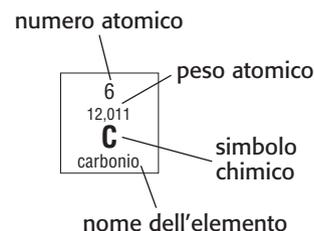
### DAGLI ATOMI A...

Atomi	Molecola	Elemento	Composto
O	$O_2$	Ossigeno	
H	$H_2$	Idrogeno	
N	$N_2$	Azoto	
O, H	$H_2O$		Acqua
N, H	$NH_3$		Ammoniaca

## ■ Pesì atomici e molecolari

Nell'ultima pagina del libro è riprodotta la *tavola periodica degli elementi*. In ogni riquadro, al di sopra del simbolo dell'elemento, compare il suo *peso atomico* (→ figura a destra).

Il **peso atomico** di un elemento è la *massa dell'atomo* di quell'elemento misurata in *unità di massa atomica*.





Rappresentazione di un laboratorio chimico del sedicesimo secolo

© Stradanus, Palazzo Vecchio, Firenze

“L’ipotesi molecolare e atomica della materia emerse così presto nella storia della scienza, che siamo quasi tentati di supporre che essa sia una necessità del pensiero.”

(John Henry Poynting, 1899)

### ■ Il mondo antico

Il concetto di atomo è introdotto nel mondo greco, nel v secolo a.C., da Leucippo di Mileto, maestro di Democrito, che universalmente è considerato il padre dell’atomismo.

Il termine *atomo* di origine greca significa «che non si può dividere». Per Democrito, infatti, gli atomi sono indivisibili, immutabili, infiniti e durano per sempre e le loro infinite combinazioni danno luogo alla straordinaria varietà dei fenomeni e della materia che noi conosciamo e possiamo vedere. In seguito il filosofo greco Epicuro, così come Platone, abbracciò la teoria atomistica di Democrito.

L’idea di atomo ricevette fin dai tempi di Democrito anche delle critiche. Anassagora, filosofo contemporaneo di Democrito, proponeva che gli atomi potessero essere formati a loro volta da parti più piccole, come i mattoni che compongono un muro derivano molte delle loro proprietà dall’argilla di cui sono composti.

Con il passare del tempo, l’ato-

mismo subì numerosi attacchi ma non fu mai del tutto accantonato perché illustrava in maniera soddisfacente alcune semplici proprietà della materia, negli stati solido, liquido e aeriforme. Fu compito dei chimici agli inizi del diciannovesimo secolo fornire il primo valido sostegno empirico alla teoria atomica.

### ■ La nascita della teoria atomica moderna

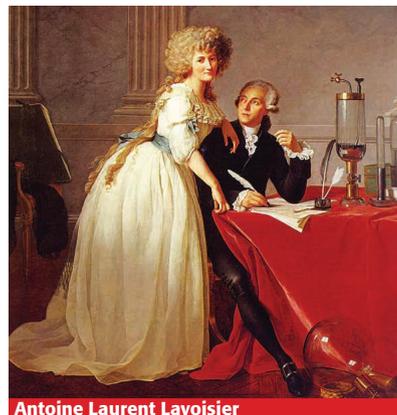
Durante il Medioevo e il Rinascimento, la storia della chimica e degli atomi si confonde con quella dell’alchimia, disciplina fortemente connotata da misticismo e mistero.

Anche se non si parla mai esplicitamente di atomi, già nel Duecento si discute dei «corpuscoli» che costituiscono la materia. Nel Seicento Robert Boyle elaborò l’ipotesi che i gas fossero costituiti da particelle microscopiche che si urtavano tra loro. La paura a chiamare queste particelle atomi è giustificata dal comportamento della Chiesa cattolica, che nel 1632 aveva messo al bando da tutte le scuole dei gesuiti l’inse-

gnamento della teoria atomistica, considerata ai confini con l’eresia.

I chimici che alla fine del Settecento avrebbero contribuito alla nascita della chimica classica non si interrogano sulla natura della materia: Antoine Laurent Lavoisier e Joseph Louis Proust, per esempio, enunciarono due delle leggi su cui sarebbe stata fondata poi la teoria atomica di John Dalton, senza capirne fino in fondo le implicazioni.

A Lavoisier, che per primo utilizzò sistematicamente nei suoi esperimenti la bilancia, si deve la **legge di conservazione della massa**:



Antoine Laurent Lavoisier

in una reazione chimica la somma delle masse dei reagenti (le sostanze di partenza) è uguale alla somma delle masse dei prodotti (le sostanze che si hanno alla fine). Per questo spesso si dice che in chimica niente si crea e niente si distrugge: le sostanze sono soggette a trasformazioni nel corso delle reazioni.

Il chimico francese Joseph Proust enunciò invece la **legge delle proporzioni definite**, secondo cui in ogni composto gli elementi sono presenti secondo rapporti definiti e costanti, a differenza di quello che accade per i miscugli. Così, per esempio, il carbonato di rame, naturale o preparato in laboratorio, contiene sempre ossigeno, rame e carbonio nelle stesse proporzioni.



Joseph Proust

I fondatori della chimica moderna avevano da un lato chiarito la distinzione fra *elementi* (che non potevano essere scomposti) e *composti*, e dall'altro avevano capito che i costituenti di una reazione chimica dovevano essere sempre presenti in esatte proporzioni di peso per dar luogo alla reazione.

### ■ **L'Ottocento, il secolo degli atomi**

Nel primo decennio dell'Ottocento, Dalton enunciò la **teoria atomica**: la materia è costituita da atomi indivi-

sibili e indistruttibili; gli atomi di uno stesso elemento chimico sono uguali tra loro, quelli di elementi diversi hanno proprietà diverse. Unendo un metallo, il sodio, e un gas di colore verde, il cloro, si ottiene il sale da cucina: Dalton chiamò ogni combinazione di atomi *molecola*, che è il più piccolo costituente di un composto chimico.

Proporre l'esistenza degli atomi, cioè di particelle minime che costituiscono la materia, permetteva di spiegare tutte le leggi sperimentali che fino ad allora gli scienziati avevano trovato nello studio della natura:

- la legge di conservazione della massa, infatti, si poteva spiegare ipotizzando che nel corso di una reazione gli atomi delle molecole dei reagenti si mescolassero per dare origine a nuove combinazioni, formando le molecole dei prodotti;
- la legge di Proust, invece, si poteva spiegare ipotizzando che fosse sempre la stessa combinazione di atomi a formare la molecola di un composto.

I chimici condivisero subito le ipotesi di Dalton e iniziarono a interrogarsi sulle differenze tra atomi e molecole e sui simboli da attribuire agli atomi dei diversi elementi. Uno dei principali dibattiti in corso in questi anni, per esempio, riguardava la ricerca del criterio migliore per misurare le masse atomiche.

La comunità dei fisici, invece, accolse con scetticismo la teoria atomica; solo la constatazione della sua necessità per spiegare i fenomeni che essi stavano via via scoprendo li avrebbe convinti non solo dell'esistenza degli atomi ma anche dell'importanza di capire la loro struttura più nel dettaglio.

### ■ **La definizione della struttura atomica**

Nella seconda metà dell'Ottocento

la fisica e la chimica sono in pieno fermento, ma molte sono ancora le domande senza risposta.

Nel 1897, Joseph John Thomson scopre l'elettrone, una particella di carica negativa, e si fa strada l'idea che gli elettroni possano essere presenti all'interno di tutti gli atomi. In quegli anni, infatti, Henri Becquerel e i coniugi Curie dimostrano che alcuni elementi sono radioattivi, cioè possono emettere particelle cariche. Se gli atomi possono emettere particelle cariche, è necessario ipotizzare che esse siano parte costituente di tutti gli atomi.

All'inizio del ventesimo secolo, però, non si sapeva come le cariche positive e negative fossero disposte all'interno degli atomi.

- Thomson propose un modello atomico in cui l'atomo è una sfera di carica positiva al cui interno si trovano gli elettroni.
- Gli esperimenti condotti da Ernest Rutherford nel 1911 smentirono il modello di Thomson, e portarono alla ribalta il modello planetario in cui l'atomo è composto da un nucleo centrale di carica positiva intorno a cui ruotano gli elettroni negativi.

Tutti i modelli atomici proposti implicano il superamento dell'indivisibilità dell'atomo che era stata postulata da Democrito. Oggi sappiamo che l'atomo è costituito da particelle negative chiamate elettroni, particelle positive chiamate protoni e particelle neutre chiamate neutroni. Non solo l'atomo è divisibile, ma, come si scoprirà poi, anche le particelle subatomiche che costituiscono il nucleo sono a loro volta composte.

Con l'avvento della meccanica quantistica negli anni Venti del Novecento, infine, non si parlerà più di elettroni rotanti e di orbite, ma di equazioni matematiche e funzioni d'onda.

L'unità di massa atomica è indicata con il simbolo  $u$ . Il suo valore numerico è

$$u = 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg.} \quad (12)$$

Per esempio, nella quarta casella della seconda riga della tavola periodica degli elementi vediamo che il peso atomico del carbonio (simbolo C) è 12,011. Ciò significa che la massa  $m_C$  di un atomo di carbonio è

$$m_C = 12,011 u = 12,011 \times 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1,9944 \times 10^{-26} \text{ kg.}$$

I pesi atomici permettono di calcolare i pesi molecolari dei composti.

Il **peso molecolare** di una sostanza è la *massa della molecola* di quella sostanza, misurata in unità di massa atomica.

Per esempio, la molecola d'acqua è formata da un atomo di ossigeno (peso atomico 15,9994) e da due atomi di idrogeno (peso atomico 1,0079). Quindi il peso molecolare dell'acqua è

$$15,9994 + 2 \times 1,0079 = 15,9994 + 2,0158 = 18,0152.$$

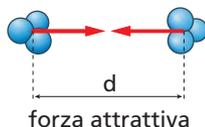
### ■ Le forze intermolecolari

Le forze che legano gli atomi a formare le molecole sono di natura elettrica. Queste stesse forze si sentono (seppure più debolmente) anche al di fuori delle molecole. In questo modo ogni molecola può interagire con altre molecole vicine a essa.

#### Forza nulla

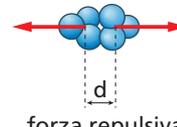
La forza intermolecolare si annulla quando la distanza tra le molecole è maggiore di  $10^{-7}$  m.

► In generale le molecole si attraggono anche se, quando sono lontane, l'attrazione è così debole che può essere considerata nulla.



A

► Soltanto quando le molecole sono così vicine da arrivare a sovrapporsi (a distanze minori di  $10^{-9}$  m), si respingono.



B

La forza di attrazione tra le molecole genera le *forze di coesione* nella materia. Queste forze permettono a un pezzo di legno o a un blocco di ghiaccio di rimanere uniti. Anche lo sforzo necessario per stracciare un foglio di cartone dipende dalle forze di coesione all'interno del cartone.

#### DOMANDA

► La molecola di ossigeno è composta da due atomi di ossigeno. Utilizzando la tavola periodica degli elementi, calcola il peso molecolare dell'ossigeno e la massa della molecola di ossigeno.

## 11. La mole e il numero di Avogadro

Dalla tavola periodica degli elementi in fondo al libro puoi vedere che il peso atomico dell'elio (He) è pari a 4,00, mentre quello dell'ossigeno (O) è 16,0. Ciò significa che un atomo di elio ha una massa che è un quarto di quella di un atomo di ossigeno. Perciò, se fai la proporzione fra la massa di un numero qualunque  $N$  di atomi di elio e la massa di  $N$  atomi di ossigeno otterrai sempre lo stesso valore  $1/4$ .

Il discorso è vero anche al contrario: se una massa  $m$  di elio contiene  $N$  atomi, per avere lo stesso numero di atomi di ossigeno si deve considerare una massa di ossigeno pari a  $4m$  (cioè quadrupla), visto che la massa di un atomo di ossigeno è, come abbiamo detto, quattro volte quella di un atomo di elio.

In particolare, 4,00 g di elio contengono lo stesso numero di atomi di 16,0 g di ossigeno. Questo numero si chiama **numero di Avogadro**  $N_A$  ed è pari a

$$\begin{aligned} N_A &= \frac{\text{massa di 4,00 g di He}}{\text{massa di un atomo di He}} = \frac{4,00 \text{ g}}{4,00 \text{ u}} = \\ &= \frac{\cancel{4,00} \times 10^{-3} \text{ kg}}{\cancel{4,00} \times 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}} = 6,02 \times 10^{23}. \end{aligned} \quad (13)$$

Questo risultato è vero in generale:

una quantità di qualunque sostanza che ha una massa in grammi numericamente uguale al suo peso atomico o molecolare contiene un numero di atomi o molecole uguale al numero di Avogadro.

Consideriamo, infatti, un atomo  $x$  che ha peso atomico  $p_x$ . La massa di  $x$  è quindi  $p_x \times u$ . Quindi il numero  $N$  di atomi  $x$  contenuti in  $p_x$  grammi di quell'elemento è:

$$\begin{aligned} N &= \frac{p_x \text{ g}}{p_x u} = \frac{\cancel{p_x} \times 10^{-3} \text{ kg}}{\cancel{p_x} u} = \frac{1 \times 10^{-3} \text{ kg}}{1 u} = \\ &= \frac{1 \times 10^{-3} \text{ kg}}{1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}} = 6,02 \times 10^{23} = N_A, \end{aligned}$$

e quindi si ha sempre  $N = N_A$ .

Sulla base del numero di Avogadro è definita la **mole**, che è l'unità di misura della quantità di sostanza nel Sistema Internazionale:

si chiama **mole** di una sostanza quella quantità di sostanza che contiene un numero di Avogadro di componenti elementari (atomi, molecole, ...).

La mole si indica con il simbolo «mol». La  accanto mostra come appare una mole di diversi elementi: carbonio (12,01 g), piombo (207,19 g), rame (63,55 g), mercurio (200,59 g), zolfo (32,07 g).

### Cifre significative

Per semplificare la trattazione, i pesi atomici dell'elio e dell'ossigeno sono qui scritti con tre cifre significative.

### Le molecole

La dimostrazione è valida anche se  $x$  è una molecola e  $p_x$  è il suo peso molecolare.

### Definizione rigorosa

La definizione ufficiale di mole è «la quantità di sostanza che contiene tante unità elementari quanti sono gli atomi in 0,012 kg di carbonio-12».



K. Knap, 1989

## ■ Le unità di misura del numero di Avogadro e del peso atomico

Un valore più preciso del numero di Avogadro (con l'unità di misura corretta) è

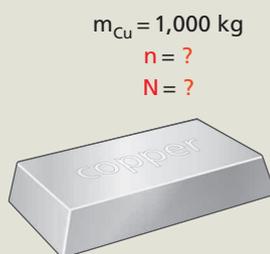
$$N_A = 6,022137 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}. \quad (14)$$

L'unità di misura del peso atomico e molecolare è grammi fratto mole (g/mol). Il Problema seguente illustra la ragione di queste unità di misura e il loro utilizzo.

### PROBLEMA

Un lingotto di rame (Cu) ha una massa di 1,000 kg.

► Calcola quante moli di rame sono contenute nel lingotto e da quanti atomi di rame esso è composto.



### ■ Strategia e soluzione

- Nella tavola periodica degli elementi alla fine del libro leggiamo che il peso atomico del rame è 63,546, da cui segue che la massa di una mole vale 63,546 g/mol. Grazie a questo dato possiamo calcolare il numero  $n$  di moli di rame come

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\text{massa del lingotto di rame}}{\text{massa di una mole di rame}} = \frac{1,000 \text{ kg}}{63,546 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = \\
 &= \frac{1,000 \cancel{\text{kg}}}{0,063546 \frac{\cancel{\text{kg}}}{\text{mol}}} = 15,74 \text{ mol}. \quad (*)
 \end{aligned}$$

- Visto che ogni mole contiene  $N_A$  atomi, il numero di atomi contenuti nel lingotto di rame è:

$$N = n \times N_A = (15,74 \cancel{\text{mol}}) \times \left( 6,022 \times 10^{23} \frac{1}{\cancel{\text{mol}}} \right) = 9,479 \times 10^{24}. \quad (**)$$

Il lingotto contiene quasi  $10^{25}$  atomi di rame.

### ■ Discussione

Nel calcolo (\*) le unità di misura del peso atomico permettono di ottenere l'unità di misura corretta (mol) per il numero  $n$  di moli di rame.

Nel successivo calcolo (\*\*) l'unità di misura ( $\text{mol}^{-1}$ ) di  $N_A$  consente di ricavare, come è giusto, che il numero  $N$  di atomi è un numero puro (senza unità di misura).

### DOMANDA

Versiamo in un bicchiere 250 g di acqua.

► Quante molecole di acqua sono contenute nel bicchiere?

→ Esercizio simile: 63 a pag. 38.

## 12. L'equazione di stato del gas perfetto

Il concetto di mole permette di scrivere l'equazione di stato (11) del gas perfetto

$$pV = \left( \frac{p_0 V_0}{T_0} \right) T$$

in una forma diversa e più utile per i calcoli.

Gli esperimenti, fatti da Avogadro per primo, mostrano che:

a pressione e temperatura fissati, il volume occupato dal gas è direttamente proporzionale al numero di particelle che lo compongono, cioè al numero  $n$  di moli del gas.

Nell'equazione di stato del gas perfetto compare il fattore

$$\frac{p_0 V_0}{T_0}, \quad (15)$$

che è direttamente proporzionale a  $V_0$ ; per quanto detto sopra, a sua volta  $V_0$  è direttamente proporzionale al numero di moli  $n$ , per cui l'intero fattore (15) è direttamente proporzionale a  $n$ . Questo fatto si può esprimere con la formula

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = nR, \quad (16)$$

dove la costante di proporzionalità  $R$  vale sperimentalmente

$$R = 8,3145 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}. \quad (17)$$

Sostituendo la formula (16) nell'equazione di stato del gas perfetto riportata all'inizio del paragrafo, otteniamo per essa la nuova forma:

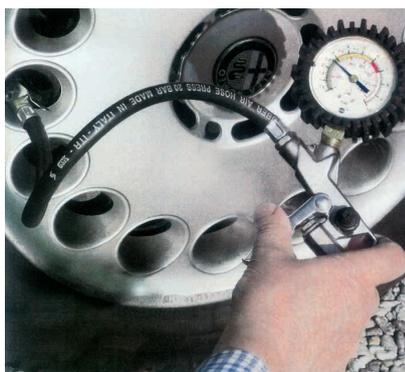
$$pV = nRT \quad (18)$$

pressione (Pa)
quantità di gas (mol)  
volume (m<sup>3</sup>)
temperatura (K)

Essa stabilisce che, una volta fissato il numero di moli di gas, il prodotto della pressione e del volume è direttamente proporzionale alla temperatura assoluta del gas.

L'equazione di stato del gas perfetto lega tra loro le quattro grandezze  $p$ ,  $V$ ,  $n$  e  $T$ : se sono note tre di esse, la quarta può essere calcolata.

Quando uno pneumatico della bicicletta o dell'auto è sgonfio, significa che la pressione dell'aria al suo interno è minore di quella necessaria. Per gonfiare lo pneumatico si inserisce in esso dell'aria (→ figura a lato), cioè si aumenta il valore di  $n$ ; così facendo si aumenta il valore del prodotto  $pV$  fino a quando la pressione giunge al valore voluto.



### LEZIONE

- L'equazione di stato del gas perfetto

### Il volume

Gonfiando lo pneumatico aumenta un poco anche il volume. L'entità di questo aumento dipende dalle caratteristiche di elasticità dello pneumatico.



**Amedeo Avogadro** (1776-1856) fisico e chimico italiano. Si deve a lui il chiarimento della distinzione tra i concetti

di atomo e molecola. Introdusse in Piemonte il sistema metrico decimale. La legge da lui scoperta permise, per la prima volta, di misurare le masse atomiche e molecolari relative.

### ■ La legge di Avogadro

L'equazione di stato del gas perfetto contiene come caso particolare la **legge di Avogadro**, secondo cui

volumi uguali di gas diversi, mantenuti alla stessa temperatura e alla stessa pressione, contengono lo stesso numero di particelle.

Infatti dalla formula (18) otteniamo:

$$n = \frac{pV}{RT};$$

ciò significa che il numero di moli (e quindi di particelle) contenute in una certa quantità di gas è fissato una volta che si conoscono  $p$ ,  $V$  e  $T$ , mentre la massa degli atomi o molecole del gas non ha alcuna rilevanza.

In particolare, si può calcolare che una mole di gas a  $0^\circ\text{C}$  (273,15 K) e alla pressione atmosferica normale occupa sempre il volume di 22,4 L (detto *volume molare in condizioni normali*).

#### PROBLEMA

Una quantità di gas perfetto contiene 1,00 mol di gas alla temperatura di 273,15 K e alla pressione atmosferica di  $1,013 \times 10^5$  Pa.

► Calcola il volume occupato dal gas.



$n = 1,00$  mol  
 $T = 273,15$  K  
 $p = 1,013 \times 10^5$  Pa  
 $V = ?$

#### ■ Strategia e soluzione

• Dividendo per  $p$  i due membri dell'equazione (18) otteniamo:

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{(1,00 \text{ mol}) \times \left(8,3145 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right) \times (273,15 \text{ K})}{1,013 \times 10^5 \text{ Pa}} = 2,24 \times 10^{-2} \text{ m}^3 = 22,4 \text{ L.}$$

#### ■ Discussione

Il volume di 22,4 L così ottenuto è lo stesso per una mole di tutti i gas che seguono bene il comportamento del gas perfetto (che, cioè, non sono troppo compressi e che si trovano a una temperatura molto maggiore di quella di condensazione).

#### DOMANDA

Una bombola da 40,0 L contiene elio alla pressione di  $1,28 \times 10^6$  Pa e alla temperatura di 300 K. In queste condizioni l'elio si comporta come un gas perfetto.

► Quante moli di elio sono contenute nella bombola?

→ Esercizio simile: 67 a pag. 38.

## Perché l'oleodotto ha la forma a zig-zag?

Le sezioni sopraelevate dell'oleodotto sono disposte a zig-zag per permettere la dilatazione e la contrazione dei tubi provocate dalle variazioni di temperatura.

L'Alaska Pipeline (in rosso nella → figura) è lungo poco più dell'Italia (1288 km), attraversa tre catene di montagne e più di 800 tra fiumi e ruscelli.



### ■ La dilatazione e la contrazione termica

La temperatura del greggio all'interno dei tubi può variare molto: il greggio si raffredda rapidamente quando passa attraverso terreni gelati o vicino a corsi d'acqua, mentre in altri punti si riscalda anche fino a 65 °C. A causa di queste variazioni di temperatura, i tubi di acciaio si possono dilatare: per un aumento (o una diminuzione) di 5 °C, si ha un allungamento (o una contrazione) di 8 mm per ogni 12 m di tubo.

Un oleodotto dritto si deformerebbe, perché non avrebbe la flessibilità necessaria per assorbire tali variazioni. Una struttura a zig-zag, invece, permette una grande mobilità: fissati ai loro supporti, i segmenti si possono muovere lateralmente fino a 6 m e fino a 1,5 m in



verticale. La forma a zig-zag cambia quindi in continuazione, a seconda della temperatura.

Questa disposizione si rivela molto utile anche in caso di terremoti, perché l'oleodotto è in grado di spostarsi seguendo i movimenti del terreno.



### ■ Per saperne di più

[www.alyeska-pipe.com](http://www.alyeska-pipe.com) (sito ufficiale dell'Alaska Pipeline)

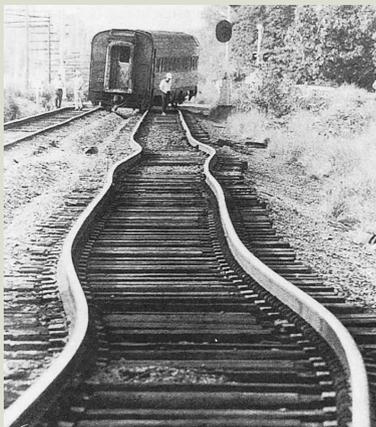
#### I gasdotti

In alcuni punti, i gasdotti hanno una forma a omega, che permette loro di deformarsi leggermente a seconda della temperatura.



#### I binari

A causa della dilatazione termica in una giornata di luglio, i binari della ferrovia nell'Asbury Park nel New Jersey si sono deformati.



#### Svitare il coperchio

Mettendo il coperchio metallico sotto un getto d'acqua calda, lo si fa dilatare leggermente e in questo modo lo si riesce a svitare.



# I concetti e le leggi

## 1. Il termometro

<b>Termoscopio</b>	Recipiente chiuso da un tappo forato in cui è infilato un tubicino trasparente. Il recipiente e parte del tubo sono riempiti di liquido.
<b>Uso del termoscopio</b>	Il livello del liquido nel tubicino del termoscopio indica la temperatura.
<b>Scala Celsius</b>	Si definisce $0^\circ\text{C}$ la temperatura del ghiaccio fondente e $100^\circ\text{C}$ quella dei vapori d'acqua bollente. Poi si divide in 100 parti questo intervallo di temperature.
<b>Termometro</b> [thermometer]	Termoscopio tarato
<b>Temperatura</b> [temperature]	Grandezza fisica che si misura con il termometro
<b>kelvin (K)</b>	Unità di grandezza della temperatura nel Sistema Internazionale. La variazione di temperatura di 1 K è uguale a quella di $1^\circ\text{C}$ .
<b>Temperatura assoluta <math>T</math></b> [absolute temperature]	È ottenuta dalla temperatura Celsius $t$ aggiungendo il numero 273: $T = t + 273\text{ K}$ . $t = -273^\circ\text{C}$ è lo zero assoluto.

### ESEMPIO

$$\text{Se } t = 27^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad T = 27\text{ K} + 273\text{ K} = 300\text{ K}$$

## 2. La dilatazione lineare dei solidi

**Legge della dilatazione lineare** Gli esperimenti mostrano che

$$l - l_0 = l_0 \lambda \Delta t \quad \text{ossia} \quad l = l_0(1 + \lambda \Delta t)$$

### ESEMPIO

$$\begin{aligned} \text{Se } \begin{cases} l_0 = 1,6\text{ m} \\ \lambda = 3,0 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \\ \Delta t = 100^\circ\text{C} \end{cases} &\Rightarrow \\ \Rightarrow l - l_0 = (1,6\text{ m}) \times (3,0 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}) \times (100^\circ\text{C}) &= 0,005\text{ m} \end{aligned}$$

<b>Coefficiente di dilatazione termica</b>	È il coefficiente $\lambda$ che compare nella legge della dilatazione lineare dei solidi. È numericamente uguale all'allungamento di una barra lunga un metro riscaldata di $1^\circ\text{C}$ . Si misura in $^\circ\text{C}^{-1}$ o in $\text{K}^{-1}$ .
<b>Validità della legge di dilatazione lineare</b>	È una legge fenomenologica approssimata che descrive piuttosto bene i dati sperimentali.

## 3. La dilatazione volumica dei solidi

<b>Coefficiente di dilatazione volumica (<math>\alpha</math>) di un solido</b>	È uguale al triplo del coefficiente di dilatazione lineare per la stessa sostanza: $\alpha = 3\lambda$ .
<b>Legge della dilatazione volumica dei solidi</b>	$V = V_0(1 + \alpha \Delta t)$

### ESEMPIO

$$\begin{aligned} \text{Se } \begin{cases} V_0 = 36,4\text{ cm}^3 \\ \lambda = 5,0 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \\ \Delta t = 80^\circ\text{C} \end{cases} &\Rightarrow \\ \Rightarrow \alpha = 3 \times (5,0 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}) = 1,5 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} &\Rightarrow \\ \Rightarrow V = (36,4\text{ cm}^3) \times [1 + (1,5 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}) \times (80^\circ\text{C})] &= 36,8\text{ cm}^3 \end{aligned}$$

#### 4. La dilatazione volumica dei liquidi

**Legge della dilatazione volumica dei liquidi** È analoga a quella dei solidi:  $V = V_0(1 + \alpha\Delta t)$ . Però il valore di  $\alpha$  è maggiore di quello relativo ai solidi.

**Comportamento anomalo dell'acqua** Da 0 °C a 4 °C il volume dell'acqua, invece di aumentare, diminuisce. Ciò spiega perché, d'inverno, i laghi gelano in superficie.

#### 5. Le trasformazioni di un gas

**Stato di un gas** È individuato da quattro variabili: massa  $m$  del gas; volume  $V$ ; temperatura  $T$ ; pressione  $p$ .

**Trasformazioni fondamentali di un gas** Isoterma, con  $T$  costante; isocòra, con  $V$  costante; isòbara, con  $p$  costante.

#### 6. La prima legge di Gay-Lussac ( $p$ costante)

**Prima legge di Gay-Lussac** Descrive la dilatazione termica di un gas a pressione costante. È data dalla formula  $V = V_0(1 + \alpha\Delta t)$ .  $V_0$  il volume del gas a 0 °C (273 K) e, per tutti i gas, si ha  $\alpha = 1/(273 \text{ °C})$ .

**Prima legge di Gay-Lussac in funzione di  $T$**  È data da  $V_T = \frac{V_0}{T_0} T$ ,  $T_0 = 273 \text{ K}$  (più esattamente  $T_0 = 273,15 \text{ K}$ ).

ESEMPIO

$$\text{Se } \begin{cases} V_0 = 3,0 \text{ m}^3 \\ T = 364 \text{ K} \end{cases} \Rightarrow V_T = \frac{3,0 \text{ m}^3}{273 \text{ K}} \times (364 \text{ K}) = 4,0 \text{ m}^3$$

#### 7. La legge di Boyle ( $T$ costante)

**Legge di Boyle** Descrive il comportamento di un gas a temperatura costante. Stabilisce che, a temperatura costante, il prodotto del volume occupato da un gas per la sua pressione rimane costante:  $pV = p_1V_1$ .

ESEMPIO

$$\text{Se } \begin{cases} p_1 = 60 \text{ kPa} \\ V_1 = 1,0 \text{ m}^3 \\ p = 30 \text{ kPa} \end{cases} \Rightarrow V = \frac{(60 \text{ 000 Pa}) \times (1,0 \text{ m}^3)}{30 \text{ 000 Pa}} = 2,0 \text{ m}^3$$

#### 8. La seconda legge di Gay-Lussac ( $V$ costante)

**Seconda legge di Gay-Lussac** Descrive le proprietà di un gas a volume costante. È data dalla formula  $p = p_0(1 + \alpha t)$ .  $p_0$  è la pressione del gas a 0 °C (273 K). Per tutti i gas,  $\alpha = 1/(273 \text{ °C})$ .

**Seconda legge di Gay-Lussac in funzione di  $T$**  È data da  $p_T = \frac{p_0}{T_0} T$ ,  $T_0 = 273 \text{ K}$ .

ESEMPIO

$$\text{Se } \begin{cases} p_0 = 90 \text{ kPa} \\ T = 455 \text{ K} \end{cases} \Rightarrow p_T = \frac{90 \text{ kPa}}{273 \text{ K}} \times (455 \text{ K}) = 150 \text{ kPa}$$

**Termometro a gas** Determina la temperatura assoluta misurando la pressione di una certa quantità di gas mantenuto a volume costante. La temperatura è data dalla formula  $T = \frac{T_0}{p_0} p_T$ .

## 9. Il gas perfetto

**Gas perfetto** [ideal gas]

Modello di gas ideale che obbedisce alle due leggi di Gay-Lussac e a quella di Boyle, che valgono per gas piuttosto rarefatti e con una temperatura molto maggiore di quella di liquefazione.

**Equazione di stato del gas perfetto** [ideal gas law]

$pV = \frac{p_0V_0}{T_0} T$ . Da essa si ottengono, come casi particolari, la legge di Boyle e le due leggi di Gay-Lussac.

## 10. Atomi e molecole

**Molecola** [molecule]

È il «grano» più piccolo di cui è costituita una sostanza. Sostanze diverse sono formate da molecole diverse.

**Atomo** [atom]

Uno dei 92 «mattoni» fondamentali da cui sono formate tutte le molecole.

**Elemento** [element]

Sostanza elementare non più scomponibile in sostanze più semplici. A ogni elemento corrisponde una specie di atomi.

**Composto**

Sostanza formata da atomi di più elementi.

**Peso atomico** [atomic weight]

Massa dell'atomo di un elemento, espressa in unità di massa atomica (una unità di massa atomica vale  $u = 1,6605 \times 10^{-27}$  kg).

**Peso molecolare**  
[molecular weight]

Massa di una molecola in unità di massa atomica. È data dalla somma dei pesi atomici degli atomi che compongono la molecola.

**Forze intermolecolari**

Due molecole, quando sono molto lontane, non avvertono alcuna forza; quando sono abbastanza vicine, si attraggono (forza di coesione molecolare); quando sono così vicine da arrivare a sovrapporsi, si respingono.

## 11. La mole e il numero di Avogadro

**Numero di Avogadro** ( $N_A$ )

Una quantità di qualunque sostanza che ha una massa in grammi numericamente uguale al suo peso atomico o molecolare contiene un numero di Avogadro di atomi o molecole. Vale  $N_A = 6,022137 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

**Mole**

È quella quantità di sostanza che contiene un numero di Avogadro di componenti elementari (atomi, molecole, ...). È l'unità di misura SI della quantità di sostanza.

## 12. L'equazione di stato del gas perfetto

**Relazione tra volume di un gas e numero di particelle**

A pressione e temperatura fissati, il volume occupato dal gas è direttamente proporzionale al numero di particelle che lo compongono, cioè al numero  $n$  di moli del gas.

**Equazione di stato del gas perfetto**

$pV = nRT$ ;  $R = 8,3145 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

**Legge di Avogadro**

Volumi uguali di gas diversi, mantenuti alla stessa temperatura e alla stessa pressione, contengono lo stesso numero di particelle.

**Volume molare in condizioni normali**

Una mole di gas a  $0^\circ \text{C}$  (273,15 K) e alla pressione atmosferica normale occupa sempre il volume di 22,4 L.



## 1. Il termometro

- 1 Test.** Che cosa sfrutta il termometro per misurare la temperatura? (Più di una risposta è esatta.)
- A L'equilibrio termico.  
 B La dilatazione termica.  
 C I cambiamenti di stato.  
 D La scala termometrica Kelvin.

- 2 Completa la tabella.** La seguente tabella riporta alcune temperature notevoli in kelvin e gradi Celsius. Completala inserendo i dati mancanti.

	$T(K)$	$T(^{\circ}C)$
Zero assoluto	0	
Ghiaccio fondente		0
Temperatura ambiente	300	
Temperatura corporea umana		37
Acqua bollente		100

- 3** La temperatura all'interno dell'aula è di  $18^{\circ}C$ . In un giorno di primavera, la temperatura esterna è più alta di  $7,0^{\circ}C$ .
- Quanto vale la differenza di temperatura fra l'esterno e l'interno espressa in kelvin?
- 4** Alla pressione di 1 atm, un blocco di argento e uno di oro iniziano a fondere rispettivamente alle temperature di 1234 K e  $1065^{\circ}C$ .
- Quale dei due elementi fonde a temperatura maggiore?
- 5** Mean ground temperatures on Mars and Venus are respectively 210 K and 726 K.
- What is their equivalent in  $^{\circ}C$ ? [ $-63^{\circ}C$ ;  $453^{\circ}C$ ]
- 6** Nella scala di temperatura Fahrenheit, adoperata negli USA, l'acqua bolle a  $212^{\circ}F$  e il ghiaccio fonde a  $32^{\circ}F$ . L'intervallo fra queste due temperature è diviso in 180 parti, e ognuna di queste rappresenta un grado Fahrenheit ( $^{\circ}F$ )
- A quanti gradi Celsius corrisponde la temperatura di  $100^{\circ}F$ ? [ $38^{\circ}C$ ]

## 2. La dilatazione lineare dei solidi

- 7 Vero o falso?** Nel caso della dilatazione lineare di una barra:
- a. la lunghezza della barra è direttamente proporzionale alla sua temperatura.  V  F
- b. l'allungamento della barra è direttamente proporzionale alla sua temperatura.  V  F

- c. la lunghezza della barra è direttamente proporzionale alla sua variazione di temperatura.  V  F
- d. l'allungamento della barra è direttamente proporzionale alla sua variazione di temperatura.  V  F

- 8 Test.** Una barra di lunghezza iniziale 1 m, si allunga di 1 m se sottoposta a una variazione di temperatura di  $1^{\circ}C$ . Perché non possiamo concludere che la costante  $\lambda$  del materiale di cui è fatta la barra è uguale al suo allungamento?
- A Perché  $\lambda$  è costante, mentre l'allungamento è variabile.  
 B Perché  $\lambda$  e l'allungamento non hanno la stessa unità di misura.  
 C Perché  $\lambda$  e l'allungamento non hanno lo stesso valore numerico.  
 D Perché l'allungamento, a differenza di  $\lambda$ , è una grandezza unitaria.
- 9 Test.** Un bullone di metallo, con un foro al centro, è riscaldato e si dilata. Cosa fa il foro?
- A Si dilata.  
 B Si restringe.  
 C Mantiene lo stesso diametro.  
 D Per rispondere, occorre sapere di che metallo si tratta.
- 10** Un filo metallico, inizialmente lungo 1,5 m, subisce un allungamento di 2,4 mm quando la sua temperatura passa da  $20^{\circ}C$  a  $90^{\circ}C$ .
- Qual è il valore del coefficiente di dilatazione lineare del metallo che costituisce il filo? [ $23 \times 10^{-6}^{\circ}C^{-1}$ ]
- 11** Un'asta metallica, inizialmente lunga 0,85 m, subisce un allungamento di 1,0 mm quando la sua temperatura passa da  $0^{\circ}C$  a  $100^{\circ}C$ .
- Di che materiale è probabilmente fatta l'asta? [Ferro]
- 12** Un viadotto di cemento armato è lungo 1,500 km in inverno a una temperatura di  $-10,0^{\circ}C$ . In estate la temperatura raggiunge il valore di  $40,0^{\circ}C$ .
- Calcola la lunghezza del viadotto in estate. (Simile al problema svolto a pag. 8) [ $1,501 \times 10^3$  m]
- 13** Alla temperatura di  $0^{\circ}C$ , una collana d'argento è lunga 26,9 cm e una di oro è lunga 27,0 cm.
- A quale temperatura le due collane avrebbero la stessa lunghezza? (I coefficienti di dilatazione lineare dell'argento e dell'oro valgono rispettivamente  $19 \times 10^{-6}^{\circ}C^{-1}$  e  $14 \times 10^{-6}^{\circ}C^{-1}$ .) [circa  $8 \times 10^2^{\circ}C$ ]

### 3. La dilatazione volumica dei solidi

**14 Test.** Quale delle seguenti relazioni è vera?

- A  $\alpha = \lambda^3$
- B  $\lambda = \alpha^3$
- C  $\alpha = 3\lambda$
- D  $\lambda = 3\alpha$

**15 Vero o falso?** Nel caso della dilatazione volumica:

- a. il volume è direttamente proporzionale alla temperatura.  V  F
- b. il volume è direttamente proporzionale alla variazione di temperatura.  V  F
- c. la variazione di volume è direttamente proporzionale alla temperatura.  V  F
- d. la variazione di volume è direttamente proporzionale alla variazione di temperatura.  V  F

**16** Un cubo di piombo ( $\lambda = 2,9 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ) di lato 41 cm viene riscaldato da  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- Calcola la variazione del suo volume. [ $4,8 \times 10^2 \text{ cm}^3$ ]

**17** Un cilindro ha diametro 1,8 cm e lunghezza 21 cm. Quando viene riscaldato da  $t_1 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $t_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$  subisce una variazione di volume di  $0,10 \text{ cm}^3$ .

- Di quale materiale potrebbe essere fatto il cilindro? [Vetro]

**18** Un diamante di volume pari a  $100 \text{ cm}^3$  ( $\lambda = 1,3 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ) è alla temperatura di  $0,0 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- Quale temperatura dovrebbe raggiungere affinché il suo volume aumenti dell'1,0%? [ $2,6 \times 10^3 \text{ }^\circ\text{C}$ ]

### 4. La dilatazione volumica dei liquidi

**19 Test.** Riguardo al coefficiente di dilatazione volumica si può affermare che, in generale:

- A quello dei solidi è dello stesso ordine di grandezza di quello dei liquidi.
- B quello dei solidi è maggiore di quello dei liquidi.
- C quello dei solidi è minore di quello dei liquidi.
- D per i solidi esiste soltanto il coefficiente di dilatazione lineare.

**20 Test.** Una certa quantità di acqua passa da una temperatura iniziale di  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  a una temperatura finale di  $-4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Come si comporta il suo volume?

- A Aumenta costantemente.
- B Diminuisce costantemente.

- C Dapprima diminuisce, poi aumenta.
- D Dapprima aumenta, poi diminuisce.

**21** Una colonna di mercurio ha un volume di  $10 \text{ cm}^3$  alla temperatura di  $273 \text{ K}$ . Il coefficiente di dilatazione volumica del mercurio è  $182 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

- Di quanto aumenta il volume del mercurio se la sua temperatura sale a  $373 \text{ K}$ ? [ $0,182 \text{ cm}^3$ ]

**22** Una bottiglia da 1,0 L è piena fino all'orlo di olio di oliva alla temperatura di  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Successivamente la temperatura aumenta fino a  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- Quanto olio trabocca dalla bottiglia? (Trascura la dilatazione del vetro).  
(Simile al problema svolto a pag. 11) [ $1,8 \times 10^{-2} \text{ L}$ ]

**23** Una bottiglia che contiene glicerina ( $\alpha = 0,53 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ) si trova alla temperatura di  $12,0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Poi viene riscaldata e durante la fase di riscaldamento il volume della glicerina passa da 1,77 L a 1,88 L.

- Calcola la temperatura finale raggiunta. [ $1,3 \times 10^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ]

**24** Un cilindro di ferro con area di base  $30,0 \text{ cm}^2$  contiene un volume di olio pari a  $300 \text{ cm}^3$  compresso da un pistone. Il coefficiente di dilatazione volumica dell'olio è  $7,2 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . Il recipiente viene scaldato da  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- Calcola l'aumento di volume dell'olio.
- Determina di quanto si alza il pistone a causa dell'aumento di volume dell'olio.  
(Simile al problema svolto a pag. 11) [ $22 \text{ cm}^3$ ;  $0,72 \text{ cm}$ ]

**25** Un motociclista riempie di benzina fino all'orlo una tanica di vetro da 15,0 L alla temperatura di  $18,0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Poi dimentica al sole la tanica, che raggiunge così la temperatura di  $42,0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Il coefficiente di dilatazione volumica della benzina è  $950 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

- Calcola la dilatazione di volume della tanica.
- Quanta benzina uscirà dalla tanica?  
(Considera la dilatazione del vetro  $\lambda_{\text{vetro}} = 9,00 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ). [ $9,72 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ ;  $3,32 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ ]

### 5. Le trasformazioni di un gas

**26 Vero o falso?** Lo stato di un gas è descritto da:

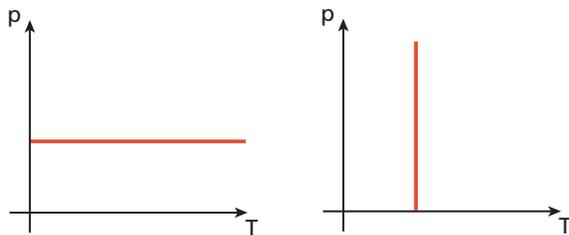
- a. la pressione.  V  F
- b. il volume.  V  F
- c. la massa.  V  F
- d. la densità.  V  F
- e. la velocità.  V  F
- f. la temperatura.  V  F

**27** Cancella le alternative sbagliate.

- a) La pressione di un gas che subisce una trasformazione *isòbara/isocòra* rimane costante.  
 b) Una variazione di pressione e volume a temperatura costante è un esempio di trasformazione *isoterma/isocòra*.

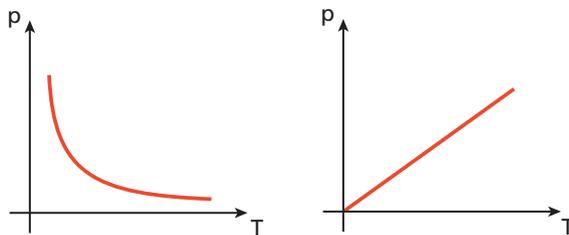
**28** Test. In un piano cartesiano, rappresenta sull'asse  $y$  il volume  $V$  e sull'asse  $x$  la temperatura  $T$  di un gas durante una trasformazione isocòra. Come appare il grafico?

- A Una retta parallela all'asse  $x$ .  
 B Una retta parallela all'asse  $y$ .  
 C Una retta che passa per l'origine degli assi.  
 D Una retta con una pendenza positiva.

**29** Test. Quale dei seguenti grafici può rappresentare il comportamento della pressione in funzione della temperatura di un gas mantenuto a pressione costante?

A

B



C

D

**6. La prima legge di Gay-Lussac****30** Test. La prima legge di Gay-Lussac è valida se:

- A il gas è denso.  
 B il volume del gas è costante.  
 C la pressione del gas è costante.  
 D il gas è rarefatto ed è lontano dal punto di liquefazione.

**31** Cancella le alternative sbagliate.

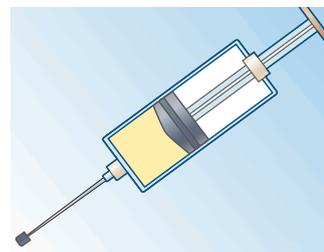
- a) Il volume di un gas a pressione costante è *direttamente/inversamente* proporzionale alla temperatura *Celsius/assoluta*.

b) La variazione di volume di un gas inizialmente a  $0\text{ }^\circ\text{C}$  e riscaldato a pressione costante, è *direttamente/inversamente* proporzionale alla temperatura *Celsius/assoluta*.

c) Per un gas mantenuto a pressione costante, la relazione che esprime il legame fra  $V$  e  $t$  è rappresentata da una *retta/iperbole* che *passa/non passa* per l'origine degli assi.

**32** Una certa quantità di gas è libera di espandersi a pressione costante. Alla temperatura di  $800\text{ K}$  il volume del gas è doppio rispetto a quello iniziale.  
► Qual è la temperatura iniziale?

[400 K]

**33** Una siringa ben tappata è chiusa da uno stantuffo lubrificato e contiene  $0,80\text{ mL}$  di aria alla temperatura ambiente di  $20\text{ }^\circ\text{C}$ . La siringa così predisposta viene introdotta in un freezer dove la temperatura è mantenuta a  $-18\text{ }^\circ\text{C}$ .

► Quale sarà il volume dell'aria nella siringa una volta raggiunto l'equilibrio termico con il freezer?

[0,69 mL]

**34** Un recipiente di forma cilindrica, chiuso da un pistone che può scorrere senza attrito, contiene un gas perfetto. Il suo volume iniziale è di  $2,50\text{ L}$  alla temperatura iniziale di  $20\text{ }^\circ\text{C}$ . Il recipiente viene poi riscaldato fino alla temperatura di  $100\text{ }^\circ\text{C}$ .

► Quanto vale ora il volume occupato dal gas, considerando la pressione costante?

[3,2 L]

**35** Due gas, idrogeno ed elio, sono liberi di espandersi a pressione costante in due recipienti diversi. Entrambi vengono riscaldati alla stessa temperatura. L'idrogeno raddoppia il suo volume mentre il volume finale dell'elio è  $52\text{ mL}$ .

► Calcola il volume iniziale di elio contenuto nel recipiente.

[26 mL]

**36** Un gas è racchiuso dentro un contenitore cilindrico munito di un pistone libero di muoversi. La temperatura passa da  $20\text{ }^\circ\text{C}$  a  $42\text{ }^\circ\text{C}$ , mentre la pressione sul pistone è mantenuta costante. Il pistone, prima del riscaldamento, si trovava a un'altezza di  $15\text{ cm}$  dalla base del contenitore cilindrico.

► Calcola l'altezza finale raggiunta dal pistone.

[16 cm]

## 7. La legge di Boyle

**37 Test.** In un gas rarefatto e molto lontano dalla temperatura di liquefazione:

- A la pressione e il volume sono direttamente proporzionali se la temperatura è libera di variare.
- B la pressione e il volume sono inversamente proporzionali se la temperatura è libera di variare.
- C la pressione e il volume sono direttamente proporzionali se la temperatura è mantenuta costante.
- D la pressione e il volume sono inversamente proporzionali se la temperatura è mantenuta costante.

**38 Test.** Il grafico di un gas che obbedisce alla legge di Boyle, chiamato isoterma, è:

- A un arco di iperbole.
- B un arco di parabola.
- C un segmento di retta.
- D un arco di circonferenza.

**39** Una siringa (ben tappata e chiusa da uno stantuffo che scorre senza attrito) contiene 0,90 mL di aria alla pressione atmosferica di 101 kPa. Premiamo lentamente sullo stantuffo (in modo che la temperatura rimanga costante) fino a quando il volume si riduce a 0,40 mL.

► Qual è la pressione finale all'interno della siringa? [ $2,3 \times 10^5$  Pa]

**40** Un recipiente munito di pistone a tenuta stagna e con attrito trascurabile contiene  $1,28 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup> di gas alla pressione di 102 kPa. Aggiungiamo lentamente dei pesi sul pistone per aumentare la pressione, che si porta a 110 kPa.

► Quale volume occuperà il gas, se la temperatura rimane costante?

(Simile al problema svolto a pag. 15)

[ $1,19 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>]

**41** Durante un esperimento il volume di aria contenuto in un serbatoio ben sigillato viene modificato agendo su uno stantuffo. Quando lo stantuffo è sollevato lentamente in modo che la temperatura rimanga costante, il volume dell'aria aumenta di 90 mL e la pressione si riduce a 1/3 di quella iniziale.

► Calcola il volume iniziale di aria. [45 mL]

**42** Due bombole contengono lo stesso gas elio. La prima contiene  $15 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup> di elio alla pressione di 15 atm, mentre la seconda ne contiene  $5,0 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup> alla pressione di 30 atm. Mante-

nendo costante la temperatura, le due bombole vengono messe in comunicazione.

► Qual è la pressione finale raggiunta nelle due bombole? [19 atm]

## 8. La seconda legge di Gay-Lussac

**43 Vero o falso?** La seconda legge di Gay-Lussac afferma che, a volume costante:

- a. il rapporto fra la pressione e la temperatura Celsius rimane costante.  V  F
- b. il rapporto fra la pressione e la temperatura assoluta rimane costante.  V  F
- c. il prodotto della pressione per la temperatura Celsius rimane costante.  V  F
- d. il prodotto della pressione per la temperatura assoluta rimane costante.  V  F

**44 Caccia all'errore.** «In un termometro a gas, la temperatura è determinata misurando la pressione di una data quantità di gas mantenuto a volume costante.»

**45** Una bombola contiene idrogeno alla pressione di  $5,0 \times 10^5$  Pa quando il gas si trova alla temperatura di 16 °C. Successivamente, il manometro della bombola indica una pressione di  $5,5 \times 10^5$  Pa.

► Qual è ora la temperatura del gas? [45 °C]

**46** Un gas è mantenuto a volume costante alla pressione di  $1,7 \times 10^5$  Pa.

► Quale sarà la sua pressione allo zero assoluto?

(Simile al problema svolto a pag. 17)

[0 Pa]

**47** Stai per partire per le vacanze e porti l'automobile a fare un controllo generale. Il tuo meccanico misura la pressione di uno pneumatico e ottiene il valore di 2,5 atm. La temperatura è di 20 °C. Dopo un viaggio piuttosto lungo, le gomme si sono riscaldate e hanno raggiunto la temperatura di 38 °C.

► A quale pressione si trovano adesso le gomme? (Considera il volume costante.) [2,7 atm]

## 9. Il gas perfetto

**48 Vero o falso?** Il gas perfetto obbedisce:

- a. alla legge di Boyle.  V  F
- b. alla prima legge di Gay-Lussac ma non alla seconda legge di Gay-Lussac.  V  F
- c. alla seconda legge di Gay-Lussac.  V  F

- 49 Completa la tabella.** Una certa quantità di un gas che si può considerare come un gas perfetto occupa un volume di 20,0 L alla pressione di 100 kPa e alla temperatura di 273 K. In ognuno dei tre stati indicati in tabella, trova il valore della grandezza mancante.

GRANDEZZE	STATO 1	STATO 2	STATO 3
$T$ (K)	350	500	
$V$ (L)	30,0		10,0
$P$ (kPa)		150	320

- 50 Pensa come un fisico.** Perché le bolle d'aria che si formano sott'acqua diventano più grandi man mano che salgono in superficie?

- 51** Un pallone contiene 4,2 L di aria alla temperatura di 35 °C e alla pressione di 150 kPa. A un certo punto, la temperatura scende a 20 °C e la pressione sale a 200 kPa.

► Quanto diventa il volume del pallone? [3,2 L]

- 52** In un recipiente un gas occupa un volume di 0,024 m<sup>3</sup> alla pressione di 102 kPa e alla temperatura di 7,0 °C. La pressione viene aumentata fino a 110 kPa e il volume raggiunge 0,029 m<sup>3</sup>.

► Determina la temperatura finale del gas. [92 °C]

- 53** Lo pneumatico di un furgone viene gonfiato con aria inizialmente alla temperatura di 12,0 °C e pressione 102 kPa. Durante la procedura, l'aria è compressa al 27,0% del volume iniziale e la temperatura raggiunge 38,0 °C.

► Determina la pressione dopo il gonfiaggio. [412 kPa]

- 54** Il pallone sferico di una mongolfiera contiene elio alla pressione di 120 kPa e alla temperatura di 300 K. Il raggio del pallone è di 5,00 m.

► Determina lo stato in cui si trova l'elio nel pallone.

► Quando la mongolfiera sale, la pressione si riduce a 110 kPa mentre la temperatura scende a 290 K. Qual è ora il volume del pallone?

$$[p = 120 \text{ kPa}, T = 300 \text{ K}, V = 524 \text{ m}^3; 552 \text{ m}^3]$$



Chase Swift/Corbis Images

- 55** Alla temperatura di 273 K e alla pressione di  $1,013 \times 10^5$  Pa, la densità dell'azoto è 1,25 kg/m<sup>3</sup>.

► Determina la sua densità alla temperatura di 57,0 °C e alla pressione di  $1,40 \times 10^5$  Pa.

$$[1,43 \text{ kg/m}^3]$$

## 10. Atomi e molecole

- 56 Vero o falso?** Il peso atomico:

- a. è una misura della massa di un atomo.  V  F
- b. misura il peso di un atomo in unità opportune.  V  F
- c. è uguale per tutti gli atomi dei diversi elementi.  V  F

- 57 Completa la tabella.**

ELEMENTO	COMPOSTO
Zucchero	×
Acqua	
Alluminio	
Elio	
Plastica	

- 58** La massa in kilogrammi di un atomo di ferro vale  $9,3 \times 10^{-26}$  kg.

► Qual è il suo valore espresso in unità di massa atomica? [56 u]

- 59** La molecola di anidride carbonica è formata da un atomo di carbonio (peso atomico 12) e due atomi di ossigeno (peso atomico 16).

► Qual è il valore del peso molecolare dell'anidride carbonica?

► Qual è il valore in kilogrammi della massa di una molecola di anidride carbonica?

$$[44; 7,3 \times 10^{-26} \text{ kg}]$$

- 60** Un certo numero di atomi di ossigeno (peso atomico 16) si combina con un atomo di zolfo per formare una molecola (peso molecolare 80). La massa dell'atomo di zolfo è  $5,3 \times 10^{-26}$  kg.

► Quanti atomi di ossigeno servono per formare una molecola del composto? [3]

## 11. La mole e il numero di Avogadro

- 61 Test.** La definizione di mole può essere applicata:

- A soltanto alle molecole.
- B a qualunque oggetto.
- C alla massa di ciascun tipo di atomo.
- D soltanto a oggetti microscopici.

- 62 Vero o falso?**

- a. Il numero di Avogadro è pari a  $6,02 \times 10^{-23}$ .  V  F
- b. L'unità di misura del numero di Avogadro è mol<sup>-1</sup>.  V  F

c. La massa in grammi di una sostanza numericamente uguale al suo peso molecolare o atomico contiene un numero di molecole o atomi pari al numero di Avogadro. V F

**63** Un recipiente contiene 3,2 g di elio. Il peso atomico dell'elio è 4,0 g/mol.  
 ► Calcola quanti atomi di elio sono contenuti nel recipiente.  
 (Simile al problema svolto a pag. 26) [4,8 × 10<sup>23</sup>]

**64** Il peso atomico dell'ossigeno è 16 e quello del piombo è 207.  
 ► Ci sono più atomi in 32 g di ossigeno o in 83 g di piombo?  
[1,2 × 10<sup>24</sup> atomi di ossigeno, 2,4 × 10<sup>23</sup> atomi di piombo]

## 12. L'equazione di stato del gas perfetto

**65 Test.** Il prodotto della pressione e del volume di un gas perfetto per un numero di moli fissato è:  
 [A] direttamente proporzionale alla temperatura assoluta del gas.  
 [B] direttamente proporzionale alla temperatura del gas espressa in gradi Celsius.  
 [C] direttamente proporzionale alla temperatura del gas, comunque sia espressa.  
 [D] costante per qualsiasi temperatura del gas.

**66 Pensa come un fisico.** Un recipiente sigillato e a pareti rigide contiene un gas. Come varia la pressione se lo riscaldiamo?

**67** Un gas contiene 1,0 moli di gas alla temperatura di 21 °C e alla pressione di 1,4 × 10<sup>5</sup> Pa.  
 ► Determina il suo volume nell'ipotesi che il gas si comporti come un gas perfetto.  
 (Simile al problema svolto a pag. 28) [1,7 × 10<sup>-2</sup> m<sup>3</sup>]

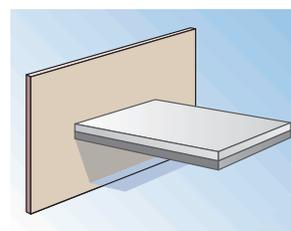
**68** Un palloncino di elio perfettamente sferico ha un raggio di 15,0 cm. Al suo interno la pressione è di 1,05 × 10<sup>5</sup> Pa e la temperatura è di 28,0 °C.  
 ► Quante moli di elio sono contenute nel palloncino? [0,593]

**69** Un gas contiene 1,5 mol di gas alla temperatura di 15 °C e alla pressione di 1,1 × 10<sup>5</sup> Pa. Dopo averlo riscaldato a pressione costante il gas occupa un volume finale di 38 L.  
 ► Calcola il volume iniziale del gas.  
 ► Calcola la temperatura finale del gas. [33 L; 62 °C]

**70** Un recipiente di 15,0 L a 21,0 °C contiene 4,80 moli di ossigeno e 2,15 moli di azoto.  
 ► Calcola la pressione totale esercitata dai gas nel recipiente. [1,13 × 10<sup>6</sup> Pa]

## PROBLEMI GENERALI

**1** Un tipo di termostato funziona grazie a due lamine metalliche di materiali diversi, saldate insieme. Considera due lamine della lunghezza di 10,0 cm, una di ferro e una di zinco, accoppiate come nel disegno e che vengono riscaldate di 150 °C.



► Qual è l'allungamento di ciascuna lamina?  
 ► Qual è la differenza di allungamento fra le due lamine?  
 ► Cosa accade alle due lamine in seguito al loro allungamento? [0,18 mm; 0,45 mm; 0,27 mm]

**2** Una certa quantità di liquido passa dal volume di 1,000 L al volume di 1,075 L quando la sua temperatura aumenta di 100 °C.  
 ► Qual è il coefficiente di dilatazione del liquido considerato?  
 ► Di quanto dovrebbe variare la temperatura per produrre un ulteriore aumento di volume pari a 25 mL? [7,5 × 10<sup>-4</sup> K<sup>-1</sup>; 31 °C]

**3** La molecola di metanolo è formata da un atomo di carbonio (peso atomico 12,011), un atomo di ossigeno (peso atomico 15,9994) e quattro atomi di idrogeno (peso atomico 1,008).

► Qual è il valore del peso molecolare del metanolo?  
 ► Qual è la percentuale in massa dell'idrogeno su una certa quantità di metanolo? [32,042; 12,6%]



**4** Un serbatoio di 5,20 L contiene azoto alla temperatura di 27,0 °C e alla pressione di 27,0 × 10<sup>5</sup> Pa. Il peso molecolare del gas è 28 g/mol.  
 ► Qual è la massa di azoto contenuta nel serbatoio? [0,16 kg]

**5** Nel luglio 2002 il miliardario statunitense Steve Fossett è riuscito a circumnavigare la Terra «in solitario» su di una mongolfiera. Al momento

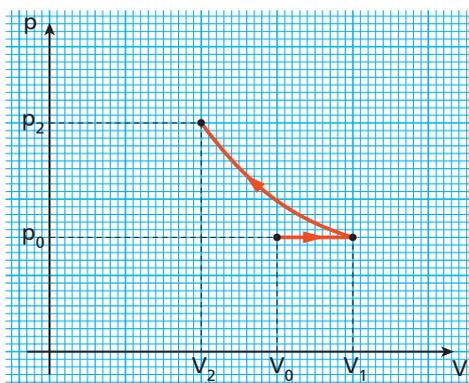
della partenza l'aria contenuta nel pallone si trovava alla temperatura di  $30,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , alla pressione di  $101\text{ kPa}$  e alla densità di  $1,20\text{ kg/m}^3$ . Il primo giorno il pallone è salito in quota, portando l'aria al suo interno alla temperatura di  $-35,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  e alla pressione di  $50,0\text{ kPa}$ .

► Determina il volume che occupava in quota una quantità d'aria che al suolo occupava un volume di  $1,10\text{ m}^3$ .

► Calcola la variazione percentuale del volume.

► Determina infine il valore della densità dell'aria in quota. [ $1,75\text{ m}^3$ ;  $59\%$ ;  $0,756\text{ kg/m}^3$ ]

- 6** Una certa quantità di gas perfetto si trova inizialmente in uno stato con pressione pari a  $101\text{ kPa}$ , volume  $25,0\text{ L}$  e temperatura  $300\text{ K}$ . Poi subisce due trasformazioni successive, come mostrato nel grafico:



- 1) prima la temperatura aumenta a pressione costante fino al valore di  $400\text{ K}$ ;
  - 2) poi, la temperatura rimane costante mentre il volume è dimezzato.
- Determina i valori finali delle variabili che descrivono lo stato del gas. [ $202\text{ kPa}$ ;  $16,7\text{ L}$ ;  $400\text{ K}$ ]

- 7** Il numero di molecole per unità di volume nell'atmosfera del pianeta Marte è  $3,0 \times 10^{23}$  molecole/ $\text{m}^3$ . La pressione atmosferica media vale  $0,92\text{ kPa}$ .

► Qual è la temperatura media su Marte? (Considera l'atmosfera un gas perfetto.)

► Dai una stima del numero di molecole contenute per unità di volume nell'atmosfera della Terra, procurandoti i dati della pressione e della temperatura medie sulla superficie terrestre.

[ $-51\text{ }^{\circ}\text{C}$ ]

- 8** Un recipiente contiene  $12,0\text{ kg}$  di azoto (peso atomico  $14,0\text{ g/mol}$ ) alla pressione di  $4,80 \times 10^5\text{ Pa}$ . Un identico recipiente, a parità di volume e di temperatura, contiene elio alla pressione di  $3,80 \times 10^5\text{ Pa}$ . Il peso atomico dell'elio è  $4,00\text{ g/mol}$ .

► Quanto vale la massa di elio contenuta nel recipiente?

(Suggerimento: guarda i problemi svolti nei paragrafi 11 e 12)

[ $1,36\text{ kg}$ ]

- 9** Un subacqueo in immersione emette una bolla d'acqua che, quando raggiunge la superficie, ha raddoppiato il suo volume. Facciamo l'ipotesi che la temperatura si mantenga costante.

► A che profondità si trova il subacqueo?

[ $10,3\text{ m}$ ]

### QUESITI PER L'ESAME DI STATO

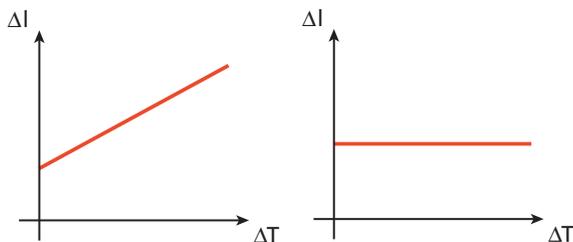
Rispondi ai quesiti in un massimo di 10 righe.

- 1** Spiega per quali ragioni si introduce la scala assoluta di temperature.
- 2** Illustra la prima legge di Gay-Lussac, ed esplicita le ipotesi sotto le quali è valida.
- 3** Ricava l'equazione di stato del gas perfetto.

### TEST

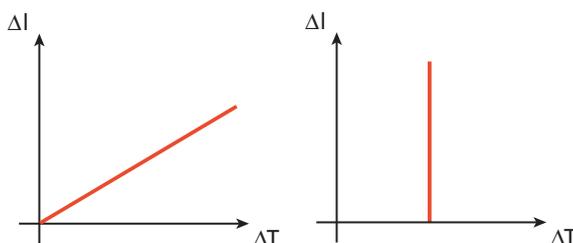
- 1** In quale delle seguenti affermazioni il valore numerico non cambia passando dai gradi Celsius ai kelvin?
  - A Lo zero assoluto corrisponde a  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - B Nel corso del giorno, la temperatura varia tra  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - C La temperatura di solidificazione dell'acqua è di  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - D La temperatura del corpo umano può variare di  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  in condizioni normali.
- 2** In quali unità di misura si esprime il coefficiente di dilatazione lineare?
  - A Kelvin.
  - B Metri fratto kelvin.
  - C Kelvin fratto metro.
  - D Kelvin alla meno uno.
- 3** In quale caso la variazione di volume di due oggetti solidi è la stessa?
  - A Se la variazione di temperatura è la stessa.
  - B Se le variazioni di temperatura e il volume iniziale sono gli stessi.
  - C Se la variazione di temperatura e il materiale costituente sono gli stessi.
  - D Se la variazione di temperatura, il volume iniziale e il materiale costituente sono gli stessi.

4 Quale fra i seguenti grafici rappresenta la relazione fra l'allungamento  $\Delta l$  di una barra e la variazione  $\Delta T$  di temperatura?



A

B



C

D

5 In quale dei seguenti casi si realizza la compressione di un gas a pressione costante?

- A Riscaldando il gas in un recipiente con un pistone libero di muoversi.
- B Raffreddando il gas in un recipiente con un pistone libero di muoversi.
- C Togliendo lentamente pesi dal pistone che racchiude il contenitore del gas.
- D Aggiungendo lentamente pesi sul pistone che racchiude il contenitore del gas.

6 Due fili metallici *A* e *B* hanno la stessa lunghezza. Riscaldati alla stessa temperatura, *A* si allunga del doppio rispetto a *B*. Quindi:

- A il coefficiente di dilatazione di *A* è il doppio di quello di *B*.
- B il coefficiente di dilatazione di *A* è la metà di quello di *B*.
- C il coefficiente di dilatazione di *A* è maggiore di quello di *B*.
- D non si può dire nulla, senza sapere di che metalli si tratta.

7 Se la prima legge di Gay-Lussac è valida, quale importante proprietà vale per la costante  $\alpha$ ?

- A Ha un valore triplo di quello valido per i solidi.
- B Ha un valore triplo di quello valido per i liquidi.
- C Ha lo stesso valore per tutte le sostanze allo stato gassoso.
- D Ha un valore costante e diverso per ogni sostanza allo stato gassoso.

8 La legge di Boyle è valida:

- A in una trasformazione isòbara.
- B in una trasformazione isocòra.
- C in una trasformazione isoterma.
- D in una trasformazione qualunque.

9 Quando la temperatura di un gas aumenta da 30 °C a 60 °C a pressione costante, il suo volume:

- A raddoppia.
- B si dimezza.
- C resta costante.
- D sicuramente aumenta.

10 In quale dei seguenti casi si realizza la compressione di un gas a temperatura costante?

- A Riscaldando il gas in un recipiente con un pistone libero di muoversi.
- B Raffreddando il gas in un recipiente con un pistone libero di muoversi.
- C Togliendo lentamente pesi del pistone che racchiude il contenitore del gas.
- D Aggiungendo lentamente pesi sul pistone che racchiude il contenitore del gas.

11 Due molecole poste a una distanza decrescente:

- A si attirano in qualsiasi caso.
- B si respingono in qualsiasi caso.
- C si attirano, poi iniziano a respingersi quando sono molto vicine.
- D si respingono, poi iniziano ad attirarsi quando sono molto vicine.

12  If the mass of a silver coin is doubled:

- A the number of moles doubles too.
- B the number of moles is halved.
- C the number of atoms remains the same.
- D the number of moles remains the same.

13 Una mole di gas perfetto occupa un volume di:

- A 22,4 L a qualsiasi pressione e alla temperatura di 0 °C.
- B 22,4 L alla pressione atmosferica e alla temperatura di 0 °C.
- C 22,4 L alla pressione atmosferica e alla temperatura di 0 K.
- D 22,4 L alla pressione atmosferica e a qualsiasi temperatura.

14 Un gas perfetto subisce una trasformazione in cui il volume e la pressione si riducono a 1/3 del valore iniziale. La temperatura:

- A si riduce a 1/3 del valore iniziale.
- B rimane costante.
- C si riduce a 1/9 del suo valore iniziale.
- D triplica il suo valore.

- 15** Un recipiente a volume costante contiene 4 moli di gas. Inseriamo nel recipiente altre 4 moli di gas mantenendo la temperatura costante. La pressione finale sarà:
- A uguale a quella iniziale.
  - B il quadruplo di quella iniziale.
  - C la metà di quella iniziale.
  - D il doppio di quella iniziale.
- 16** Nell'equazione di stato dei gas perfetti, la temperatura assoluta è:
- A direttamente proporzionale al numero di moli del gas.
  - B direttamente proporzionale solamente al volume del gas.
  - C direttamente proporzionale solamente alla pressione del gas.
  - D direttamente proporzionale al prodotto della pressione e del volume del gas.

## VERSO L'UNIVERSITÀ

### Comprensione del testo

«L'umanità oggi usa più della metà dell'acqua potabile a disposizione. L'acqua potabile è la risorsa più povera nel Medio Oriente e nell'Africa Settentrionale. Gli sforzi di dosare l'acqua potabile in questi Paesi, oltre che in Asia Orientale e nel Pacifico, non hanno successo. La produzione di cibo globale mostra oggi di venire sorpassata dall'incremento demografico e dei consumi. È vasta opinione che nel 2030 la domanda di ... sarà raddoppiata. La gran parte della terra adatta a coltivazione agricola è già oggi sotto sfruttamento. L'aumento di produzione agricola nell'Africa sub-sahariana è di un terzo inferiore all'incremento di popolazione. La regione produce oggi l'80% di ciò che consuma, e il prodotto pro-capite va declinando. Le proiezioni indicano che la domanda di ... in Asia eccederà la disponibilità già nel 2010. È prevedibile, quindi, che in molti Paesi il livello del consumo alimentare rimanga del tutto inadeguato per una buona nutrizione. La malnutrizione diffusa persisterà a meno che non vengano prese misure straordinarie capaci di garantire ... per tutti: azioni del genere, oggi, non sono nemmeno contemplate dai governi. Le alterazioni climatiche, influenzando negativamente sulla fornitura di acqua, sulle condizioni del suolo, sulla temperatura, sulle stagioni di crescita, avranno l'effetto di esacerbare i suddetti problemi alimentari.»  
(Andrea Frova, *La fisica sotto il naso*, BUR Saggi)

- 1** Dalla lettura del testo individuare quale parola, tra le seguenti, è stata eliminata e sostituita con i puntini:
- A acqua;
  - B cibo;

- C energia;
- D terra;
- E materie prime.

- 2** Quali tra le frasi scritte di seguito non è deducibile dal testo?
- A L'aumento di produzione agricola è scarso.
  - B Il rapporto domanda/disponibilità di alimenti è in aumento.
  - C Le alterazioni climatiche aumenteranno i problemi alimentari.
  - D Le alterazioni del clima faciliteranno le forniture idriche.
  - E Senza un impegno politico la malnutrizione resterà un problema.

### Test di ammissione

- 1** Una bombola di 10 L che contiene azoto gassoso alla pressione di 100 Pa viene collegata a una bombola vuota di 30 L. Se l'azoto si comporta come un gas perfetto, la pressione finale sarà:
- A 33,3 Pa
  - B 40 Pa
  - C 25 Pa
  - D 20 Pa
  - E 100 Pa
- (Prova di ammissione al corso di laurea in Ingegneria, 1999/2000)
- 2** Una camera d'aria di volume  $V$  contiene aria alla pressione di 180 kPa. Se la camera viene compressa a temperatura costante fino al volume  $3/5 V$  quanto vale la pressione finale dell'aria (considerata come gas perfetto)?
- A 500 kPa
  - B 162 kPa
  - C 300 kPa
  - D 360 kPa
  - E 108 kPa
- (Prova di ammissione al corso di laurea in Ingegneria, 2002/2003)

## PROVE D'ESAME ALL'UNIVERSITÀ

- 1** Una sbarretta di vetro lunga 30 cm viene scaldata in modo che la sua temperatura aumenti di  $65\text{ }^\circ\text{C}$ . Calcolare l'allungamento della sbarretta, sapendo che il coefficiente di dilatazione lineare del vetro è  $\alpha = 9 \times 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .
- (Esame di Fisica, Corso di laurea in Scienze biologiche, Università di Genova, 2004/2005)